

Biblioteca Scientifica 51

Sam Kean

IL CUCCHIAINO SCOMPARSO

e altre storie della tavola periodica degli elementi



ADELPHI



Ideata autonomamente, nel 1869, da Dmitrij Mendeleev e Julius Lothar Meyer, la tavola periodica degli elementi – stele immateriale dove figurano tutti i materiali di cui è fatto il mondo – continua a restare per lo più congelata nell'inerzia dei ricordi scolastici. Ci voleva un libro come quello di Sam Kean – intreccio di eclettismo disciplinare e vasta erudizione – perché dietro ogni simbolo e ogni numero atomico si spalancassero sequenze inimmaginabili in tutti gli ambiti dell'esperienza e della conoscenza umana. Come quelle arcaico-antropologiche sull'antimonio, elemento che troviamo nel giallo del palazzo di Nabucodònorsor e nel mascara delle donne egizie, usato per sedurre come per incutere terrore. O quelle storico-politiche sul molibdeno, che i tedeschi della Grande Guerra, dopo aver compreso che avrebbe rinforzato l'acciaio dei loro cannoni – le Grandi Berte –, contenderanno in una remota miniera del Colorado al bandito Adams «Due Pistole». O, ancora, quelle medicosanitarie sulla tossicità del nitrato d'argento (a lungo adottato per curare la sifilide) contrapposta alle qualità terapeutiche dello zolfo, alla base del prontossil, sulfonamide e primo chemioterapico antibatterico. O, infine, quelle fisico-cosmologiche: tutti gli elementi della tavola, infatti, condividono la stessa genesi stellare (l'esplosione di una supernova) dalla quale un processo di compattazione ha fatto nascere, oltre quattro miliardi e mezzo di anni fa, la Terra e gli altri pianeti. Punteggiato di sorprendenti aneddoti (come quello, evocato nel titolo, del cucchiaino di gallio che si scioglie al contatto del tè caldo, permettendo trucchi alla Houdini) e digressioni narrative, il libro di Kean è un'introduzione affascinante e piena di letizia alla conoscenza di ciò che costituisce il nostro pianeta e il resto dell'universo.

BIBLIOTECA SCIENTIFICA

51

SAM KEAN

*Il cucchiaino
scomparso*

e altre storie della tavola periodica degli elementi

TRADUZIONE DI LUIGI CIVALLERI



ADELPHI EDIZIONI

TITOLO ORIGINALE:
The Disappearing Spoon
And Other True Tales of Madness, Love, and the History
of the World from the Periodic Table
of the Elements

Prima edizione: settembre 2012

Terza edizione: gennaio 2013

© 2010 SAM KEAN

This edition published by arrangement
with Little Brown, Brown and Company, New York, Usa
All rights reserved

© 2012 ADELPHI EDIZIONI S.P.A. MILANO

WWW.ADELPHI.IT

ISBN 978-88-459-2735-5

INDICE

Introduzione	11
--------------	----

PARTE PRIMA UN PRIMO ORIENTAMENTO PER COLONNE E RIGHE

1. La geografia e il destino	21
2. Fratelli di sangue e pecore nere: la genealogia degli elementi	41
3. Le Galápagos della tavola periodica	56

PARTE SECONDA ATOMI CHE NASCONO, ATOMI CHE MUOIONO

4. L'origine degli atomi: «Siamo fatti della materia delle stelle»	75
5. <i>À la guerre comme à la guerre</i>	91
6. Un finale esplosivo (per la tavola)	108
7. La tavola si allunga, la guerra fredda pure	125

PARTE TERZA
CONFUSIONE PERIODICA:
EMERGE LA COMPLESSITÀ

8. Dalla fisica alla biologia	145
9. La banda degli avvelenatori: <i>itai itai!</i>	161
10. Prenda due elementi e mi chiami domattina	176
11. Come gli elementi ci ingannano	195

PARTE QUARTA
ELEMENTI UMANI, TROPPO UMANI

12. Elementi politici	211
13. Elementi come denaro	229
14. Elementi artistici	244
15. Un elemento di follia	261

PARTE QUINTA
GLI ELEMENTI OGGI E DOMANI

16. La chimica del grande freddo	283
17. Sfere di splendore: la scienza delle bolle	299
18. Strumenti di una precisione assurda	318
19. Esplorazioni oltre la tavola periodica	336

<i>Note</i>	351
-------------	-----

<i>Ringraziamenti</i>	385
-----------------------	-----

<i>Bibliografia</i>	387
---------------------	-----

<i>Indice analitico</i>	389
-------------------------	-----

TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI	351
---------------------------------	-----

IL CUCCHIAINO SCOMPARSO

INTRODUZIONE



Da bambino, nei primi anni Ottanta del secolo scorso, parlavo un sacco, anche quando non c'era nessuno ad ascoltarmi o se avevo qualcosa in bocca – roba da mangiare, il tubo aspiratore del dentista, un palloncino o quant'altro. Questo vizio mi portò al primo affascinante incontro con la tavola periodica, grazie a un termometro piazzato sotto la lingua senza che nessuno mi controllasse. Tra il secondo e il terzo anno di scuola elementare mi ammalai di faringite almeno dieci volte, e in quei casi avevo male a deglutire per giorni di fila. Non mi dispiaceva affatto starmene a casa da scuola e lenire il dolore con gelato alla crema ricoperto di cioccolato. E poi, essere malato mi dava sempre una nuova occasione per rompere un termometro, di quelli al mercurio come si usava una volta.

Sdraiato con la pipetta di vetro sotto la lingua, mi mettevo a parlare a voce alta, rispondendo a qualche domanda immaginaria, e spesso il termometro mi cadeva di bocca, infrangendosi sul parquet. Il mercurio liquido contenuto nell'ampolla si disperdeva in tante palline, simili alle sfere di un cuscinetto. Tempo un minuto e arrivava mia madre, che si inginocchiava sul pavimento, malgrado l'artrosi all'anca, e si metteva a raccogliarle. Toccandole leggermente con uno stuzzicadenti, usato a mo' di bastone da hockey, av-

vicinava l'una all'altra due di quelle cedevoli palline. Quando queste stavano per toccarsi, bastava un ultimo colpetto perché la più grande inghiottisse la più piccola. Dove prima erano in due, ora c'era una sola sferetta tremolante e perfettamente liscia. Mamma ripeteva questa piccola magia da un punto all'altro del pavimento: la sferetta più grande ingoiava le più piccole, una dopo l'altra, finché restava un'unica massa argentea tondeggiante simile a una lenticchia.

Recuperata l'ultima goccia di mercurio, tirava fuori un flacone di plastica per pillole dall'etichetta verde, che teneva a portata di mano su uno scaffaletto della cucina, tra un orso di pezza vestito da pescatore e una tazza di ceramica blu, ricordo di una riunione di famiglia nel 1985. Dopo aver fatto rotolare la sferetta su una busta, versava con cautela l'ultimo tributo del termometro su una massa molle, grande quanto una noce, che giaceva in fondo al flacone, contributo di precedenti rotture. Talvolta, prima di metter via il recipiente, versava un po' di mercurio nel tappo e mostrava ai miei fratelli e a me lo spettacolo di quel metallo futuristico, che guizzava qua e là, dividendosi e riformandosi perfettamente senza sosta. Compativo i miei coetanei le cui madri avevano tanta paura del mercurio che non li lasciavano neppure mangiare il tonno, nel timore che fosse contaminato. Gli alchimisti medioevali, malgrado la loro bramosia di oro, consideravano il mercurio la sostanza più potente e ineffabile dell'universo, e da bambino non potevo che essere d'accordo con loro. Non avrei avuto difficoltà a credere, se me lo avessero raccontato, che quella sostanza trascendeva le ordinarie suddivisioni – liquido o solido, metallo o acqua, celeste o infernale – e che vi albergassero spiriti ultraterreni.

Come ho scoperto più tardi, il mercurio si comporta in maniera così peculiare perché è un elemento. Al contrario dell'acqua (H_2O), dell'anidride carbonica (CO_2) o di quasi tutto ciò che incontriamo nella vita quotidiana, non si può separare per via naturale in parti più piccole. E tra gli elementi è uno dei più esclusivi, perché i suoi atomi vogliono stare in compagnia solo di altri della stessa specie e a tal fine minimizzano i contatti con il mondo esterno raggomitolan-

dosi a palla. La maggior parte dei liquidi con cui combinavo disastri da piccolo si comportavano in maniera ben diversa. Acqua, olio, aceto e la gelatina non ancora solidificata del budino si spandevano in giro e macchiavano il pavimento. Il mercurio, invece, non lasciava la minima traccia. Ogni volta che facevo cadere un termometro, i miei genitori mi esortavano a stare attento ai minuti frammenti di vetro e a non andare in giro scalzo, ma non ricordo di aver ricevuto ammonimenti sui pericoli del mercurio vagante.

Per molto tempo tenni d'occhio tutto quello che aveva a che fare con l'elemento numero 80 come se stessi cercando sul giornale il nome di un amico d'infanzia. Nel corso di storia avevo imparato che la spedizione di Lewis e Clark era passata dalle mie parti (sono delle Grandi Pianure) e aveva esplorato quello che allora era il Territorio della Louisiana portandosi dietro un microscopio, una bussola, un sestante, tre termometri e altri strumenti ancora. Nessuno mi disse, però, che nel bagaglio era compresa una scorta di seicento pasticche lassative al mercurio, ciascuna grande quattro volte una moderna aspirina. Erano note come «pillole biliari del dottor Rush», in onore di Benjamin Rush, uno tra i firmatari della Dichiarazione di Indipendenza, che si era distinto per esser rimasto eroicamente al suo posto durante l'epidemia di febbre gialla di Filadelfia nel 1793. Per ogni tipo di malattia era solito prescrivere del cloruro di mercurio da assumersi per bocca. In effetti, nonostante i progressi della medicina tra il XV e il XVIII secolo, i dottori dell'epoca erano più simili agli stregoni che ai moderni professionisti. Confidando in una specie di magia simpatica, credevano che il mercurio, bello e misterioso, avrebbe guarito i malati scatenando in loro una crisi di rigetto – un veleno come antidoto contro un altro veleno. Il dottor Rush obbligava i pazienti a ingerire il preparato fino quasi a far venir loro la bava alla bocca, e dopo settimane o anche mesi di trattamento a molti cadevano denti e capelli. Senza dubbio la «cura» intossicò o uccise sul colpo molti poveretti che forse sarebbero sopravvissuti alla febbre gialla. Ciò nonostante, dopo aver perfezionato il suo trattamento a Filadelfia, spedì dieci anni più tardi Lewis

e Clark nelle Pianure con una provvista di campioni preconfezionati. Come utile effetto collaterale, la pillola del dottor Rush ha permesso agli archeologi moderni di ritrovare i luoghi degli accampamenti utilizzati dai due esploratori. A causa del cibo inusuale e dell'acqua di dubbia provenienza che incontravano in natura, c'era sempre qualcuno del gruppo che soffriva di dissenteria. Ancora oggi, una linea punteggiata di depositi di mercurio marca il terreno nei numerosi siti in cui un tempo venivano scavate le latrine: le «pillole tonanti» del dottor Rush (come erano anche note) a volte funzionavano fin troppo bene.

Un altro incontro con il mercurio avvenne nel corso di scienze. Quando per la prima volta l'insegnante ci mostrò il guazzabuglio della tavola periodica, mi misi subito a cercarlo ma non lo trovai. Ovviamente c'era, al solito posto tra l'oro (lui pure denso e malleabile) e il tallio (ugualmente tossico). Ma era indicato con il simbolo Hg, due lettere che sembrano non aver niente a che fare con la parola mercurio. Quando scoprii che stavano per *hydrargyrum*, cioè «argento liquido» in latino, mi accorsi anche che la tavola periodica rifletteva antiche storie in antiche lingue, la cui influenza non cessa al giorno d'oggi, visto che anche gli elementi pesanti scoperti di recente, situati nell'ultima fila, hanno nomi latini.

Il mercurio fece la sua comparsa anche nel corso di inglese. In passato, nella lavorazione dei cappelli di feltro si usava un liquido arancione, contenente mercurio, per separare il pelo dalla pelle; capitava che i lavoratori, dopo aver passato molto tempo a respirare i vapori emessi dalle vasche, perdessero i capelli e il senno, come il Cappellaio matto di *Alice nel paese delle meraviglie*. Mi resi conto, finalmente, di quanto il mercurio fosse velenoso. Ecco perché la pillola del dottor Rush era un purgante così efficace: il corpo cercava in tutti i modi di sbarazzarsi del veleno che aveva ingerito. E se l'assunzione per via orale crea grossi problemi, i fumi sono ancora peggio, perché danneggiano le connessioni nel sistema nervoso centrale e fanno veri e propri buchi nel cervello, simili a quelli riscontrati in un malato di Alzheimer in fase avanzata.

Ma più cose imparavo sui pericoli del mercurio, più la sua bellezza distruttrice mi affascinava, un po' come il «divampante fulgore» della tigre di William Blake. Nel corso degli anni ristrutturammo casa e lo scaffale della cucina con l'orsetto e la tazza fu fatto sparire, ma i miei genitori conservarono quelle e altre cianfrusaglie in una scatola di cartone. Durante una mia recente visita, vi trovai ancora il flacone con l'etichetta verde. Tenendolo in mano e facendolo oscillare, sentivo il peso del mercurio spostarsi di netto. Lo aprii e diedi una sbirciata dentro: c'erano varie palline che si erano separate dalla massa principale e se ne stavano lì ferme, scintillanti, come gocce ideali, tanto perfette da esistere solo nei sogni. Da bambino pensavo alle sfere di mercurio solo come a un corollario della febbre; ora, riconoscendone la temibile simmetria, sentivo un brivido lungo la schiena.

Grazie al mercurio imparai molte cose: storia, etimologia, alchimia, mitologia, letteratura, medicina legale e psicologia.¹ E andavo via via raccogliendo storie, soprattutto dopo essermi immerso negli studi scientifici al college, dove trovai qualche professore ben disposto a tralasciare per un attimo le sue ricerche e a mettersi a chiacchierare di scienza.

Studiavo fisica, ma speravo in cuor mio di uscire dai laboratori per dedicarmi alla scrittura. Mi sentivo a disagio fra tutti quei giovani scienziati, così seri e dotati, determinati a diventare ricercatori e felici di ripetere gli esperimenti in un modo che per me era inconcepibile. Sopportai cinque rigidi inverni in Minnesota e mi ritrovai laureato con il massimo dei voti. Tuttavia, nonostante le centinaia di ore passate in laboratorio, le migliaia di formule mandate a memoria e gli innumerevoli schizzi pieni di leve e molle disegnati, sentivo che la mia vera istruzione erano stati i racconti dei professori. Storie di ogni tipo: di Gandhi e di Godzilla; di un fanatico di eugenetica che grazie al germanio aveva usurpato il Nobel; di blocchi di sodio esplosivo gettati nei fiumi per pescare; di uomini asfissati dal gas di azoto all'interno della navicella spaziale. O di un ex professore del college che fa-

ceva esperimenti con un pace-maker al plutonio installato nel suo stesso torace, di cui accelerava o rallentava il ritmo regolando due giganteschi solenoidi magnetici.

Il ricordo di quelle storie non mi ha mai abbandonato. Di recente, mentre a colazione tornavo con la mente alle mie palline di mercurio, mi sono reso conto che per ogni elemento della tavola periodica c'è una vicenda divertente, o bizzarra, o paurosa da raccontare. Quella tavola, oltre a essere un'opera scientifica e una delle maggiori conquiste intellettuali del genere umano, è un libro di racconti, e io ho scritto questo saggio per svelarne uno dopo l'altro i segreti, allo stesso modo in cui si sollevano i fogli trasparenti di un atlante di anatomia per vedere il nostro corpo a diverse profondità. Al livello più semplice, la tavola periodica è un catalogo di tutti i tipi di materia del nostro universo – un centinaio e passa di protagonisti, le cui spiccate caratteristiche individuali danno vita a tutto ciò che possiamo vedere e toccare. La forma della tavola ci offre già qualche indizio su come questi personaggi interagiscono tra loro all'interno della folla. A un livello di complessità leggermente più alto, la tabella è un repertorio di informazioni anagrafiche: ci dice da dove provengono gli atomi e come possono dividersi o trasformarsi. Gli atomi, inoltre, si combinano naturalmente tra loro formando sistemi dinamici simili a creature viventi: la tavola periodica ci dice in che modo. Dalla posizione che occupano nella tavola possiamo addirittura stabilire quali gruppi di elementi nocivi hanno il potere di danneggiare o distruggere gli organismi.

Infine, la tavola periodica è una meraviglia antropologica, un prodotto dello spirito umano in cui trovano espressione tutti gli straordinari, ingegnosi e odiosi tratti tipici degli esseri umani, nonché le loro relazioni con il mondo materiale. È la storia della nostra specie scritta in forma concisa ed elegante. Dovrebbe essere studiata a tutti i livelli, partendo dal più elementare per arrivare al più complesso. I racconti della tavola periodica, lungi dall'essere semplici curiosità, ne chiariscono il significato in modo ben diverso dai manuali. Noi gli elementi li mangiamo e li respiriamo; scom-

mettiamo su di essi somme enormi; li usiamo per studiare il significato della scienza. Gli elementi ci avvelenano e sono causa di guerre. Tra l'idrogeno in cima a sinistra e gli improbabili elementi artificiali annidati nell'ultima riga, troviamo bolle, bombe, denaro, alchimie, corruzione, storia, veleni, delitti e amore. E anche un po' di scienza.

PARTE PRIMA
UN PRIMO ORIENTAMENTO
PER COLONNE E RIGHE

1

LA GEOGRAFIA E IL DESTINO

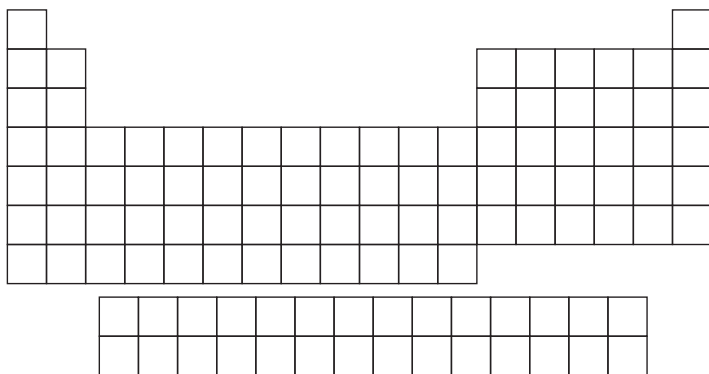
² He 4.003	⁵ B 10.812	⁵¹ Sb 121.760	⁶⁹ Tm 168.934	⁸ O 15.999	⁶⁷ Ho 164.930
-----------------------------	-----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------

Le parole «tavola periodica» in genere ci fanno venire in mente una specie di poster attaccato a una parete del laboratorio di chimica al liceo, un'infilata di righe e colonne disposte in modo leggermente asimmetrico che incombeva alle spalle del professore. Era di solito una cosa enorme, due metri di larghezza per uno e mezzo di altezza: una grandezza che intimidiva ma era del tutto appropriata, vista la sua importanza per la chimica. Se ne parlava per la prima volta a settembre e a giugno era ancora protagonista; inoltre era l'unico strumento di consultazione ammesso agli esami, quando libri e appunti erano banditi. Certo a molti non suscita bei ricordi, perché la tavola era sì di fronte ai nostri occhi, ma benché fossimo liberi di usarla in caso di emergenza, come un foglietto gigante da cui scopiazzare legalmente, in pratica non era di nessun aiuto.

A prima vista, la tavola periodica sembrava organizzata alla perfezione, progettata con un senso dell'ordine quasi germanico in vista della massima utilità scientifica. D'altra parte era un tal guazzabuglio di numeri, abbreviazioni e combinazioni misteriose (tipo [Xe]6s²4f¹5d¹) simili ai messaggi di errore di un computer, che suscitava inevitabilmente una certa ansietà. Inoltre, benché la tavola degli elementi chimici avesse manifestamente qualcosa a che fare

con scienze come la biologia e la fisica, non si capiva in che cosa di preciso consistesse tale relazione. Per molti di noi la cosa più avvilente era la fastidiosa nonchalance con cui i più bravi, che avevano davvero capito la tavola periodica e i suoi meccanismi segreti, ne ricavano tanti risultati utili. Un'irritazione simile a quella che devono provare i daltonici quando gli individui che vedono perfettamente scorrono dei sette o dei nove nei punti multicolori di un diagramma – un'informazione cruciale ma dissimulata che per loro non si risolve mai in un disegno coerente. La maggior parte di noi ricorda la tavola con un misto di meraviglia, affetto, impotenza e disgusto.

Prima di presentare agli studenti la tavola periodica, ogni insegnante dovrebbe ripulirla da cima a fondo e mostrare loro solo la nuda struttura.



A cosa somiglia? Forse a un castello con una facciata disuguale, come se il capomastro del re non fosse riuscito a terminare la parte sinistra, e due torri alte e strette a ciascuna estremità. Nel corpo principale si contano diciotto colonne di altezza diversa e sette righe orizzontali; sotto, simile a una pista d'atterraggio, troviamo una striscia lunga e stretta di due righe per quattordici colonne. Il castello è fatto di «mattoni», e la prima particolarità che rischierebbe di passare inosservata è che essi non sono intercambiabili. Ognuno rappresenta un elemento, ovvero un tipo di sostanza (al momento di andare in stampa sono 112, più alcuni altri

ancora in sospeso), e deve stare esattamente al suo posto, altrimenti il castello crollerebbe. Non sto esagerando: se si scoprisse che un elemento per qualche ragione va inserito in un'altra casella o che due altri si possono scambiare di posto, l'edificio della chimica sarebbe distrutto.

Un'altra curiosità architettonica è che da un punto a un altro i materiali utilizzati sono differenti: i mattoni non sono tutti fatti della medesima sostanza e non hanno le stesse caratteristiche. Il 75 per cento appartiene alla classe dei metalli, il che significa che la maggior parte degli elementi sono solidi, freddi e grigi, per lo meno nelle condizioni ambientali medie per gli esseri umani. I gas sono contenuti in poche colonne verso destra, e solo due elementi, mercurio e bromo, sono liquidi a temperatura ambiente. Tra metalli e gas – più o meno dalle parti del Kentucky se la tavola fosse una carta degli Stati Uniti – ci sono elementi difficilmente classificabili, che grazie alla loro natura amorfa godono di proprietà interessanti, tra cui quella di creare acidi miliardi di volte più potenti di quelli comunemente usati (e tenuti chiusi a chiave nei laboratori). Insomma, se ciascun mattone fosse fatto davvero della sostanza che rappresenta, il castello sarebbe una chimera con aggiunte e ali di epoche diverse, un pasticcio architettonico o, se vogliamo vederne il lato migliore, un edificio alla Daniel Libeskind, con materiali apparentemente incompatibili appiccicati insieme per formare un tutto elegante.

Il motivo per cui è bene soffermarsi sul piano costruttivo del castello è che le coordinate di un elemento determinano quasi tutte le sue proprietà scientificamente interessanti. La posizione di ogni elemento è il suo destino. In effetti, ora che abbiamo un'idea di com'è fatta la tavola, posso passare a una metafora più utile: la tavola periodica come carta geografica. E per descriverla un po' più in dettaglio, la percorrerò da est a ovest, soffermandomi su elementi ben conosciuti, ma anche su altri che si trovano ai margini delle vie più battute.

Iniziamo con la colonna 18, all'estremità destra, dove troviamo un gruppo di elementi noti come gas nobili. «Nobili» è un aggettivo che qui suona arcaico e strano, più adatto all'etica o alla filosofia che alla chimica. E in effetti la denominazione ri-

sale alla Grecia antica, culla della cultura occidentale. Furono i filosofi greci Leucippo e Democrito a parlare per primi di atomi e fu il loro collega Platone a coniare il termine «elementi» (*stoicheia*) per designare in generale le particelle di materia. Ovviamente Platone non sapeva cosa fosse un elemento in termini chimici moderni. Ma posto di fronte alla tavola periodica, certamente avrebbe posato gli occhi sugli elementi all'estrema destra, in particolar modo sull'elio.

Nel suo dialogo dedicato all'amore e all'erotismo, il *Simposio*, Platone scrive che ogni essere è alla ricerca del suo complemento, la metà mancante. Negli esseri umani, questa tendenza sarebbe all'origine della passione, del sesso e di tutti i problemi che questi comportano. Inoltre, in tutti i suoi dialoghi il filosofo sostiene la tesi che le entità astratte e immutabili siano intrinsecamente più nobili di quelle tangibili a contatto con la vile materia. Ecco perché era patito della geometria e dei suoi cerchi e solidi ideali, oggetti percepibili solo grazie alla ragione. Alle entità non matematiche Platone applicava la sua teoria delle «idee» o «forme», secondo la quale le cose concrete non sono altro che ombre di quelle ideali. Tutti gli alberi, per esempio, sono copie imperfette dell'idea di albero, alla cui perfetta «arboreità» aspirano. Lo stesso vale per tutto il resto: i pesci tendono alla «pescità», le tazze alla «tazzità» e così via. Platone riteneva che queste idee non fossero mere ipotesi teoriche, ma esistessero davvero, fluttuanti in un mondo iperuranio sottratto alla vista degli umani. Sarebbe rimasto scioccato, allora, quando gli scienziati come per magia iniziarono a materializzare forme ideali sulla terra, a partire dell'elio.

Nel 1911 uno scienziato olandese, mentre stava raffreddando del mercurio usando elio liquido, si accorse che sotto i $-268,8^{\circ}\text{C}$ il sistema azzerava la resistenza elettrica e diventava un conduttore ideale. Un po' come se uno raffreddasse un iPod a centinaia di gradi sotto lo zero e scoprisse che è possibile ascoltare musica a tutto volume quanto si vuole, perché la batteria dura all'infinito, a patto che l'elio mantenga abbastanza freddi i circuiti. Nel 1937 a uno scienziato russo e a due colleghi canadesi riuscì un colpo ancora più spettacolare. Raffreddato a -271°C , l'elio diventa un

superfluido, privo di viscosità e resistenza allo scorrimento: la fluidità perfetta. Sfidando la forza di gravità, l'elio superfluido può scorrere verso l'alto e arrampicarsi sulle pareti. All'epoca queste scoperte fecero scalpore. Gli scienziati spesso barano un po' e fanno finta che attriti e altri impedimenti non esistano, ma solo per semplificare i calcoli. Nessuno, nemmeno Platone, avrebbe scommesso sul fatto che un giorno si sarebbe trovata una sostanza davvero ideale.

L'elio è anche il migliore candidato all'idea platonica di elemento, cioè di una sostanza che non si riesce a scindere o modificare con normali manipolazioni chimiche. Ci vollero circa duemiladuecento anni, dalla Grecia del 400 a.C. all'Europa del 1800, perché gli scienziati capissero la natura esatta degli elementi, che sono in gran parte mutevoli e instabili. Era difficile determinare, per esempio, che cosa rendesse tale un elemento come il carbonio, visto che poteva presentarsi in migliaia di composti dotati di proprietà diversissime. Oggi diciamo per esempio che il diossido di carbonio (o anidride carbonica, CO_2) non è un elemento perché una sua molecola si può scomporre, appunto, in carbonio e ossigeno. Questi ultimi invece *sono* elementi, perché è impossibile dividerli in parti più piccole senza distruggerli. Ripensando al *Simposio* e alla teoria platonica del desiderio di riunirsi alla propria metà mancante, possiamo dire che quasi tutti gli atomi degli elementi cercano di formare legami con gli altri, in modo da mascherare la loro vera natura. Anche i più «puri», come l'ossigeno molecolare dell'aria (O_2), compaiono sempre sotto forma di composti. Eppure avremmo potuto accorgerci di tutto ciò molto prima se avessimo scoperto le proprietà dell'elio, che non interagisce e non ha mai interagito con nessun'altra sostanza, rimanendo sempre un elemento puro.¹

C'è un motivo per cui l'elio si comporta così. Tutti gli atomi contengono particelle con carica negativa, gli elettroni, che si trovano in varie regioni, corrispondenti a diversi livelli energetici, all'interno dell'atomo. I livelli sono rinchiusi l'uno dentro l'altro in gusci concentrici, ciascuno dei quali ha bisogno di un certo numero di elettroni per sentirsi completo. Per il livello più interno il numero è pari a due; negli

altri in genere è otto. Gli elementi di solito hanno tanti elettroni quanti protoni, particelle con carica positiva, e sono dunque elettricamente neutri. Gli elettroni, tuttavia, possono venire scambiati liberamente tra gli atomi, e quando gli atomi perdono o acquistano elettroni formano particelle elettricamente cariche, chiamate «ioni».

È importante notare che gli atomi prima riempiono per quanto possibile i loro livelli più interni a bassa energia con i propri elettroni, dopodiché tendono a cedere, rubare o mettere in comune elettroni con altri atomi per raggiungere il giusto numero nei livelli esterni. Alcuni elementi condividono o scambiano elettroni con diplomazia, mentre altri agiscono senza alcuno scrupolo. Ecco, metà della chimica si può riassumere così: gli atomi che non hanno elettroni a sufficienza nello strato esterno cercano di procurarseli, non importa se in modo pacifico o violento, rubandoli ad altri atomi o formando e scindendo alleanze temporanee.

L'elio, l'elemento numero 2, possiede esattamente i due elettroni necessari per riempire il suo unico livello. Grazie a questa configurazione così chiusa ha una formidabile indipendenza, perché non deve interagire con altri atomi per procurarsi elettroni, rubandoli o mettendoli in comune. L'elio ha trovato la sua metà ideale dentro di sé. Lo stesso si può dire di tutti gli altri gas che occupano la diciottesima colonna: neon, argo, kripto, xeno e radon. Tutti questi elementi hanno livelli esterni chiusi e pieni, così che nessuno di loro, in condizioni normali, reagisce in presenza di altre sostanze. Ecco perché, nonostante il fervore delle ricerche volte a identificare e classificare gli elementi nel XVIII secolo (ivi compresa la scrittura della tavola periodica), il primo gas della diciottesima colonna fu isolato solo nel 1895. Il loro distacco dalla quotidianità, così simile a quello delle figure geometriche ideali, avrebbe di sicuro affascinato Platone. Era in questo senso che gli scienziati che scoprirono l'elio e i suoi fratelli parlavano di «gas nobili». O per dirla al modo di Platone: «Chi esalta ciò che è perfetto e immutabile e disprezza ciò che è corruttibile e vile, di gran lunga preferirà i gas nobili a tutti gli altri elementi.

Perché essi non cambiano, non deviano dalla strada ideale, non s'accostano agli altri atomi come un rozzo mercante che offre le sue cianfrusaglie in piazza. Sono incorruttibili e perfetti».

La serenità dei gas nobili è tuttavia una qualità rara. La colonna immediatamente alla loro sinistra ospita gli alogeni, elementi tra i più agitati e reattivi della tavola periodica. E se immaginiamo la tavola come una mappa che si avvolge a formare un cilindro come nella proiezione di Mercatore, cosicché l'oriente incontri l'occidente, e la colonna 18 confini con la colonna 1, troviamo che i vicini di destra, i metalli alcalini, sono ancora più violenti. I gas nobili abitano una zona demilitarizzata che confina con nazioni irrequiete.

Gli alcalini sono normali metalli sotto molti punti di vista, ma invece di arrugginire o corrodersi possono incendiarsi spontaneamente a contatto con acqua o aria. Tra loro e gli alogeni c'è un'alleanza interessata. Questi ultimi hanno sette elettroni nello strato esterno, uno in meno di quanti ne vorrebbero, mentre i primi ne hanno solo uno (e il livello subito inferiore è pieno). Dunque è naturale che lo cedano agli alogeni e che tra i due ioni positivo e negativo così creati si formino forti legami.

Unioni di questo tipo sono molto comuni, il che rende gli elettroni le particelle più chimicamente importanti negli atomi. Simili a nubi in movimento che circondano un nucleo compatto, occupano la stragrande maggioranza dello spazio totale. Ciò è ancora più strano per via del fatto che i componenti del nucleo, protoni e neutroni, sono molto più grandi degli elettroni: se un atomo fosse ingrandito fino alle dimensioni di un campo da calcio, il nucleo sarebbe una palla da tennis situata nel punto centrale e gli elettroni capocchie di spillo che gli girano attorno a una tale velocità da rendere impossibile a chiunque avvicinarsi – formando l'equivalente di un muro impenetrabile. Come conseguenza di questa struttura, quando due atomi si incontrano il nucleo rimane muto spettatore delle interazioni tra elettroni.²

Una importante precisazione: non affezionatevi troppo all'immagine degli elettroni come capocchie di spillo discrete che saettano attorno a un nucleo compatto, o, per usare la metafora che forse vi è più familiare, a pianeti elet-

tronici che orbitano attorno al sole del nucleo. È un'immagine utile ma, come succede con tutte le metafore, è facile farsi prendere troppo la mano, e scienziati anche illustri l'hanno scoperto a loro spese.

Il legame tra ioni visto sopra spiega perché le combinazioni alogeno-alcalino, come il cloruro di sodio (il sale da cucina), siano tanto diffuse. Lo stesso avviene tra gli elementi delle colonne in cui ci sono due elettroni nel livello più esterno, come il calcio, e quelli delle colonne dove mancano proprio due elettroni per riempirlo, come l'ossigeno. Scambi di questo tipo sono il modo più semplice per accontentare tutti. Anche elementi di colonne che non si corrispondono nel numero di elettroni in più o in meno si combinano secondo le medesime leggi. Così ad esempio due ioni positivi di sodio (indicato con Na^+) si uniscono a uno ione negativo di ossigeno (O^{2-}) a formare l'ossido di sodio Na_2O ; il calcio e il cloro, in proporzioni analoghe, danno vita al cloruro di calcio CaCl_2 . In genere basta un'occhiata alla tavola periodica per capire come gli elementi si combinano, deducendo la carica dei loro ioni dal numero di colonna in cui si trovano. È una conseguenza della piacevole simmetria tra la parte destra e quella sinistra.

Purtroppo non tutte le regioni della tavola sono così ordinate. Ma la bizzarria di certi elementi di solito rende interessante la visita nei luoghi che fanno eccezione.

Nei laboratori si racconta una vecchia barzelletta. Una mattina un giovane assistente irrompe nell'ufficio del professore in preda a incontenibile gioia, nonostante la nottata in bianco passata a lavorare. Brandendo una provetta piena di un liquido verde che fuma e sobbolle, annuncia fiero di aver trovato il solvente universale. Il burbero luminare dà un'occhiata distratta e chiede: «E cos'è un solvente universale?». L'assistente farfuglia: «È... un acido che scioglie tutte le sostanze».

Se fosse vero sarebbe una notizia sensazionale, un miracolo della scienza, nonché fonte di colossali guadagni. Ma dopo un breve silenzio il professore replica: «E come fa a tenerlo dentro a una provetta di vetro?».

È una buona battuta, e mi piace immaginare che a raccontarla, col sorriso di chi la sa lunga, sia Gilbert Lewis in persona. Gli elettroni sono la forza che guida la tavola periodica e nessuno forse si spese più di Lewis per capire come queste particelle si muovano e formino i legami atomici. Poiché il suo lavoro fu particolarmente illuminante per la definizione del concetto di acido (e di base), è chiaro che si sarebbe reso subito conto di quanto fosse assurda l'affermazione del giovane assistente. E ripensando alla sua storia personale, forse gli sarebbe venuto in mente che la gloria scientifica può essere breve e illusoria.

Lewis era un giramondo. Trascorse gli anni dell'adolescenza nel Nebraska, studiò a Harvard fino al dottorato, verso il 1900, e poi andò in Germania a perfezionarsi sotto la guida di Walther Nernst. Ma lavorare per quel celebre chimico, per motivi sia oggettivi sia soggettivi, gli risultò intollerabile, tanto che dopo pochi mesi ritornò in patria per intraprendere la carriera accademica. Ma anche lì era insoddisfatto e così se ne andò nelle Filippine, fresca conquista americana, a lavorare per il governo. Portava con sé un solo libro, il trattato di chimica teorica dello stesso Nernst, che avrebbe passato al setaccio ossessivamente per anni a caccia di errori anche minimi, su cui poi avrebbe scritto articoli di ricerca.³

Dopo un po' gli venne nostalgia di casa e accettò una cattedra all'Università della California a Berkeley, dove rimase per quarant'anni a capo di un gruppo di ricerca in chimica che contribuì a rendere il migliore del mondo. Sembra una storia a lieto fine, ma non è così. Lewis era all'epoca probabilmente lo scienziato più meritevole di vincere un Nobel a cui il premio non fu mai assegnato, e se ne rendeva conto benissimo. Ogni anno veniva candidato, tanto da ottenere un record di nomine, ma la sua sfrenata ambizione e le dispute in cui si impegolava con colleghi di mezzo mondo gli alienavano ogni volta i voti della commissione. A un certo punto iniziò a dimettersi (volontariamente o meno) da vari importanti comitati e divenne un eremita scontroso e amareggiato.

A parte le ragioni personali, Lewis non arrivò mai al Nobel perché i suoi lavori coprivano un fronte molto vasto, anziché

approfondire in modo mirato un singolo argomento. Non fece mai una scoperta eclatante, qualcosa da indicare ai posteri come risultato sensazionale, ma passò la vita a cercare di capire sempre meglio il funzionamento degli elettroni atomici in numerosi contesti, soprattutto in relazione agli acidi e alle basi. In generale, quando due atomi si scambiano elettroni per sciogliere un legame o crearne di nuovi, si dice che è avvenuta una «reazione». Le reazioni acido-base sono un esempio eclatante, e spesso brutale, di questi scambi; le ricerche di Lewis in materia hanno mostrato in modo impeccabile il significato di questo scambio di elettroni.

Prima del 1890 o giù di lì, per decidere se una sostanza fosse acida o basica la si assaggiava o ci si immergeva un dito – metodo non proprio affidabile e sicuro. Nel giro di qualche decennio, si scoprì che gli acidi erano essenzialmente donatori di protoni. Molti contengono idrogeno, l'elemento più semplice di tutti: un elettrone orbitante intorno a un protone che costituisce da solo il nucleo atomico. Quando un acido come l'acido cloridrico (HCl) viene a contatto con l'acqua, si scinde negli ioni H^+ e Cl^- . Il primo, un atomo di idrogeno a cui è stato tolto l'elettrone, è un nudo protone che se ne va a zonzo da solo. Gli acidi deboli come l'aceto producono un numero limitato di protoni, quelli forti come l'acido solforico ne riempiono la soluzione.

Lewis decise che questa definizione era troppo restrittiva, perché esistono sostanze che si comportano come acidi pur non contenendo idrogeno. Cambiò dunque il paradigma. Invece di concentrarsi sulla liberazione di un protone, H^+ , sottolineò il furto di un elettrone da parte di Cl^- . Cosicché gli acidi più che donatori di protoni sono ladri di elettroni. Per contrasto, le sostanze basiche come la candeggina o la soda, che sono l'opposto degli acidi, si potrebbero definire donatori di elettroni. Questo punto di vista, oltre a essere applicabile più in generale, ha il merito di concentrarsi sul comportamento delle particelle – gli elettroni – dalle quali dipende tutta la chimica della tavola periodica.

La teoria di Lewis risale agli anni Venti e Trenta del secolo scorso. Oggi gli scienziati la sfruttano per creare acidi ai confi-

ni dell'impossibile. La forza di un acido si misura dal suo pH, un numero che è inversamente proporzionale all'acidità. Nel 2005 un chimico neozelandese produsse un carborano (composto del boro) con pH pari a -18 . Per rendervi conto della sua forza, sappiate che l'acqua vale 7 e l'acido cloridrico del nostro succo gastrico vale 1. Ma poiché la bizzarra scala dei pH non è lineare ma logaritmica, diminuire di un'unità equivale a moltiplicare la forza dell'acido per dieci. Dunque se partiamo dai succhi gastrici (pH 1) per arrivare dopo diciannove unità al carborano (pH -18), otteniamo che quest'ultimo è dieci miliardi di miliardi di volte più forte del primo (un numero analogo rappresenta la quantità di atomi della stessa sostanza che messi in fila coprono la distanza tra Terra e Luna).

Esistono acidi ancora più cattivi a base di antimonio, uno tra gli elementi più ricchi di folklore della tavola periodica.⁴ I capomastri di Nabucodònosor, il re babilonese che fece costruire i giardini pensili nel VI secolo a.C., impiegarono una vernice tossica a base di piombo e antimonio per dipingere di giallo le pareti del suo palazzo. Forse non è un caso che il re di lì a poco impazzì, finendo a dormire nei campi e a brucare l'erba come un bue. Più o meno nella stessa epoca, le donne egiziane usavano un altro composto a base di antimonio come mascara, non solo per il trucco, ma anche perché credevano che quella sostanza conferisse poteri stregoneschi, rendendole capaci di gettare il malocchio sui nemici. I monaci nel Medioevo (e più tardi anche Isaac Newton) erano fermamente convinti che l'antimonio avesse poteri sessuali, e poiché era a metà tra metallo e non metallo lo classificarono come ermafrodito. Si conquistò fama anche come lassativo: se ne facevano pillole che, contrariamente alle preparazioni moderne, non si scioglievano nel tratto digerente ma venivano espulse con le feci. Erano considerate così preziose che si frugava negli escrementi per recuperarle e riusarle – in certe famiglie si tramandavano letteralmente di padre in figlio. Forse è in questo modo che l'antimonio divenne una specie di panacea medica, nonostante sia tossico. È possibile che anche Mozart ne sia stato vittima, avvelenato da dosi eccessive prese per curare un forte stato febbrile.

Alla fine la scienza arrivò a capirne un po' di più. Negli anni Settanta del secolo scorso si scoprì che l'abilità dell'antimonio nell'attirare a sé atomi avidi di elettroni lo rendeva perfetto per creare acidi mai visti prima. Ne risultarono sostanze sorprendenti, paragonabili all'elio superfluido. Facendo reagire il pentafluoruro di antimonio (SbF_5) con l'acido fluoridrico (HF) si ottiene un acido con pH pari a -31 , cioè centomila miliardi di miliardi di miliardi di volte più potente dei succhi gastrici. È una sostanza che scioglie il vetro come un coltello caldo nel burro, e se provaste a metterne un po' in una provetta in un attimo vi trovereste un buco nella mano. Per prevenire le obiezioni del professore della barzelletta, lo si conserva in speciali contenitori rivestiti di teflon.

A dire il vero, spacciare questa mistura di antimonio come il più forte acido del mondo è un po' una millanteria. Presi da soli, sia il ladro di elettroni SbF_5 sia il donatore di protoni HF sono già abbastanza aggressivi. Ma perché assurgano allo status di superacido bisogna combinarli in modo speciale e moltiplicare i loro poteri uguali e contrari. Dunque il primato mondiale gli spetta solo in condizioni controllate. In realtà, l'acido più forte individualmente rimane il carborano $\text{HCB}_{11}\text{Cl}_{11}$, composto a base di boro. E questa sostanza ha anche il primato del paradosso, perché è simultaneamente il più forte (a livello di pH) e il più gentile degli acidi. Per cercare di capire come sia possibile, spezziamola nelle sue componenti positive e negative: otteniamo il solito H^+ e una complessa struttura reticolare che comprende tutto il resto ($\text{CB}_{11}\text{Cl}_{11}^-$). Nella maggioranza degli acidi è la parte negativa a essere caustica e aggressiva, ma in questo caso ci troviamo di fronte a una molecola tra le più stabili mai viste. Gli undici atomi di boro sono così generosi nel condividere gli elettroni che praticamente rendono il tutto una specie di elio. Una molecola siffatta non va in giro a strappare elettroni altrui, come in genere fanno gli acidi assetati di massacri.

Dunque a che serve il carborano, se non è capace di sciogliere provette o magari casseforti? Tanto per iniziare, aggiunge ottani alla benzina e rende le vitamine più digeribili. Ma il suo impiego principale è come rallentatore. Molte

delle reazioni chimiche in cui sono coinvolti i protoni non sono faccende rapide e indolori, ma comportano vari passi della durata di un milionesimo di miliardesimo di secondo, tanto che gli stessi scienziati spesso non hanno idea di cosa accada. Il carborano, proprio perché è così stabile e inerte, se immesso in soluzione la fa riempire di protoni e poi blocca le molecole nei punti salienti della reazione, avvolgendole in una specie di morbido cuscinetto protettivo. Per contrasto, i superacidi di antimonio hanno l'effetto opposto e distruggono le molecole intermedie che gli scienziati vorrebbero tanto osservare. Lewis avrebbe apprezzato queste e altre applicazioni delle sue ricerche su acidi ed elettroni, e forse gli ultimi anni della sua vita non sarebbero stati tanto tristi. Anche se aveva lavorato per l'esercito durante la prima guerra mondiale e aveva fatto scoperte fino a sessant'anni suonati, non fu coinvolto nel Progetto Manhattan. Ciò lo fece infuriare, anche perché molti dei suoi ex allievi e collaboratori a Berkeley ebbero un ruolo di primo piano nella costruzione della bomba atomica e divennero eroi nazionali. Passò gli anni della guerra a recriminare e a rimuginare sul passato, dedicandosi alla scrittura di un malinconico polpettone che aveva come protagonista un soldato. Morì nel 1946, solo, dentro il suo laboratorio.

Tutti concordano nel sostenere che l'aver fumato una ventina di sigari al giorno per più di quarantanni contribuì alla crisi cardiaca che lo fulminò. Ma chi entrò nel laboratorio quel giorno sentì chiaramente l'odore di mandorle amare caratteristico dei vapori di cianuro. Lewis usava questa sostanza per le sue ricerche, ed è possibile che ne abbia fatto cadere accidentalmente una provetta. Ma c'è da considerare un altro fatto. Quel giorno aveva pranzato, accettando l'invito dopo molte insistenze, con un collega più giovane e carismatico che aveva vinto il premio Nobel ed era stato incaricato di importanti consulenze per il Progetto Manhattan. Molti hanno il sospetto più o meno recondito che quell'incontro abbia scatenato in Lewis una sorda rabbia. Se così fosse, la sua grande conoscenza della chimica gli fu di aiuto e di danno allo stesso tempo.

Tra i metalli reattivi della costa ovest e i gas nobili e gli alogeni della costa est, nella tavola periodica si trovano le «Grandi Pianure» delle colonne tra la tre e la dodici: i cosiddetti elementi di transizione. A dire il vero queste sostanze si comportano in modo esasperante, quindi è difficile fare considerazioni generali su di loro; bisogna procedere con cautela. Il fatto è che gli atomi più pesanti, come appunto quelli degli elementi di transizione, immagazzinano gli elettroni in modo più flessibile. Anche loro hanno vari livelli energetici concentrici (designati semplicemente con i numeri naturali 1, 2, 3 ecc.); e anche loro combattono per assicurarsi che lo strato più esterno sia tutto occupato dagli otto elettroni possibili. Il problema sta proprio nel capire quale sia questo strato esterno.

Man mano che ci spostiamo orizzontalmente verso destra sulla tavola periodica, vediamo che ogni elemento ha un elettrone in più del suo vicino a sinistra. Il sodio (Na), elemento numero 11, normalmente ha undici elettroni; alla sua destra il magnesio (Mg), elemento numero 12, ne ha dodici, e così via. Al crescere delle dimensioni dell'atomo, i suoi elettroni non solo vengono ripartiti su differenti livelli di energia, ma anche collocati in contenitori di varia forma, detti «orbitali». Gli atomi, creature conformiste e prive di immaginazione, riempiono livelli e orbitali nel medesimo ordine via via che ci spostiamo verso destra. Gli elementi all'estrema sinistra mettono il primo elettrone nell'orbitale s, che è di forma sferica e contiene al massimo due particelle (il che spiega anche la presenza delle due colonne più alte a sinistra). Dopo aver riempito il primo orbitale, gli atomi hanno bisogno di un contenitore più spazioso. Saltiamo all'estrema destra e vediamo che inizia a essere usato l'orbitale p, che sembra una sorta di polmone deformato e può accogliere fino a sei elettroni (ed ecco le sei colonne più alte a destra). Osserviamo che sei più due fa proprio otto, il numero di elettroni che in genere gli atomi desiderano avere nel livello più esterno. E con l'eccezione dei gas nobili, che stanno tanto bene da soli, tutti questi elementi sono disposti a scontrarsi e interagire tra loro. Il loro comportamento è lineare: aggiungete un elettrone a un

atomo e lo vedrete cambiare in proporzione alla sua maggiore disponibilità a reagire con gli altri.

Adesso arriva la parte complicata. I metalli di transizione stanno nelle colonne dalla tre alla dodici e nelle righe dalla quarta alla settima. Sono i primi a utilizzare gli orbitali *d*, che sembrano palloncini da fiera piegati in strane forme e possono contenere fino a dieci elettroni. Basandosi sul comportamento degli atomi visti fin qui, ci aspetteremmo che i metalli di transizione mettano gli elettroni in soprannumero dell'orbitale *d* in un livello esterno in modo da renderli disponibili per le reazioni. Macché, preferiscono tenerseli e nasconderli in strati più interni. La scelta di violare le convenzioni e sotterrare il loro tesoro sembra bizzarra e contraria al senso comune (di sicuro non sarebbe piaciuta a Platone). Ma le leggi di natura sono queste e non possiamo farci niente.

A pensarci bene, c'è un vantaggio in questo processo. Di regola l'aggiunta di un elettrone, corrispondente allo spostamento orizzontale di una casella nella tavola periodica, dovrebbe far mutare le caratteristiche degli atomi. Ma gli elementi di transizione usano gli orbitali *d* come cassetti dal doppio fondo, e di conseguenza gli elettroni ivi contenuti sono protetti: se un altro atomo cerca di interagire non può farlo usando quelle particelle. La conseguenza è che molti elementi di transizione situati sulla stessa riga si trovano ad avere lo stesso numero di elettroni esterni e dunque si comportano chimicamente allo stesso modo. Ecco perché spesso sono indistinguibili tra loro, anche agli occhi di uno scienziato. Hanno anche un aspetto standard, grigio e amorfo, perché la configurazione esterna uguale li obbliga a conformarsi a un unico modello. (Ovviamente, per complicare ulteriormente il tutto, in certi casi gli elettroni interni riescono a saltare fuori e a interagire con l'esterno. Ecco perché certi metalli del gruppo presentano lievi differenze, e perché sono l'incubo degli studenti di chimica).

Gli stessi pasticci si ritrovano negli orbitali di tipo *f*. Sono utilizzati a partire dalla prima delle due righe che fluttuano isolate sotto il corpo principale della tavola periodica, in un gruppo di elementi chiamati «lantanidi» (o anche «ter-

re rare»). Secondo i loro numeri atomici, dal 57 al 71, dovrebbero stare nella sesta riga, ma sono stati piazzati lì per rendere la tavola meno larga e più maneggevole. I lantanidi nascondono gli elettroni ancora più in profondità degli elementi di transizione, scendendo anche di due livelli energetici. Ciò significa che sono ancora più simili chimicamente e che è difficilissimo distinguerli: passeggiare lungo quella riga è come attraversare la frontiera tra il Nebraska e il South Dakota, nel mezzo del nulla.

È impossibile trovare un lantanide puro in natura, perché questi elementi sono sempre contaminati dai loro fratelli. Una storia celebre è quella del chimico del New Hampshire che cercò di isolare il tulio, numero 69 della lista. Procuratosi grandi quantità di minerale grezzo, lo sottopose a ripetuti bagni e bolliture in larghi recipienti; a ogni giro il tulio si purificava di un poco. Il lavaggio era così lungo che all'inizio riusciva a completare soltanto due cicli al giorno. Ripeté la tediosa procedura, a mano, per quindicimila volte e si ritrovò con un pugnetto di materiale sufficientemente puro, residuo dei molti quintali di partenza. E comunque trovò tracce di contaminazione da parte di altri lantanidi: i loro elettroni erano sepolti così in profondo negli atomi che non c'era modo di afferrarli e tirarli fuori con il solo armamentario della chimica.

La tavola periodica è costruita sulla base del comportamento degli elettroni. Ma per capire davvero come sono fatti gli elementi non si può ignorare la parte che contribuisce per più del 99 per cento alla massa totale di un atomo: il nucleo. E se gli elettroni obbediscono a leggi enunciate dal più illustre scienziato a cui fu negato il premio Nobel, il nucleo sottostà alle equazioni del più improbabile vincitore che la storia del Nobel abbia mai conosciuto: una donna, la cui carriera fu ancora più movimentata di quella di Lewis.

Maria Goeppert nacque nel 1906 a Kattowitz (oggi Katowice), all'epoca in Germania, e trascorse l'infanzia e la giovinezza per lo più a Gottinga, dove il padre era professore di pediatria. Anche se veniva da una famiglia il cui ramo pater-

no contava sei generazioni di accademici, non era così scontato, essendo una donna, che potesse accedere all'università. Allorché l'unica scuola della città che preparava le ragazze all'esame di ammissione fece bancarotta, dovette arrangiarsi con lezioni private: alla fine sostenne la prova a Hannover, venendo esaminata da insegnanti che non aveva mai visto in vita sua. Si iscrisse così all'Università di Gottinga, e nel 1930 conseguì un dottorato in fisica teorica. Non potendo contare su raccomandazioni e amicizie influenti, non stupisce che le sue possibilità di trovare un posto in una università fossero praticamente nulle. Riuscì comunque a entrare nel mondo della scienza per vie traverse, grazie al marito Joseph Mayer, un chimico americano conosciuto mentre era in viaggio di studio in Germania. Diventata la signora Goeppert-Mayer, nel 1930 si recò con lui alla John Hopkins, a Baltimora, e da allora cominciò ad accompagnarlo nel suo lavoro e ai congressi. Sfortunatamente – erano gli anni della Depressione – Joseph si ritrovò più volte disoccupato, e la famiglia si spostò da una università all'altra, a New York e poi a Chicago.

Queste istituzioni tolleravano la presenza della signora Goeppert-Mayer, che piantava le tende per chiacchierare di scienza. Certe arrivavano persino a darle del lavoro, pur senza riconoscerle un compenso e assegnandole compiti in linea con lo stereotipo «femminile», come per esempio lo studio dei colori. Finita la crisi economica, centinaia di suoi colleghi furono arruolati nel Progetto Manhattan, forse lo scambio di idee scientifiche più dinamico di tutta la storia. Goeppert-Mayer fu invitata a partecipare, ma allo stesso tempo fu tenuta ai margini: le fu affidato un sottoprogetto di ricerca abbastanza inutile, lo studio di una tecnica per separare l'uranio con la luce visibile. Non c'è dubbio che in privato fosse irritata, ma l'amore per la scienza era tale da spingerla a continuare il lavoro anche in quelle condizioni. Finita la guerra, l'Università di Chicago si convinse finalmente che era una vera ricercatrice e la nominò docente di fisica. Non riceveva uno stipendio, ma in compenso aveva diritto a un suo ufficio.

Ciò nonostante, rinvigorita dall'incarico, nel 1948 si mise al lavoro e iniziò a occuparsi del nucleo, centro ed essenza di

ogni atomo. All'interno del nucleo, il numero di protoni – detto «numero atomico» – determina l'identità dell'elemento. In altre parole, un atomo non può acquistare o cedere protoni senza trasformarsi in un altro elemento. Per quanto riguarda i neutroni, di solito se ne stanno buoni nel nucleo, ma può capitare che atomi con uguale numero atomico abbiano un diverso numero di neutroni: queste varianti si chiamano «isotopi». Per esempio, i due isotopi del piombo 204 e 206 hanno identico numero atomico, pari a 82, ma diverso numero di neutroni, rispettivamente 122 e 124. Il numero complessivo di particelle nel nucleo – numero di protoni (numero atomico) più numero di neutroni – è detto «peso atomico». Ci volle molto tempo per capire quali relazioni intercorressero tra queste quantità, ma una volta chiarito come stavano le cose la tavola periodica divenne meno misteriosa.

Il lavoro di Goeppert-Mayer, a cui tutto ciò era ovviamente ben noto, si concentrò su un mistero più sfuggente, la soluzione di un problema apparentemente banale. L'elemento più semplice nell'universo, l'idrogeno, è anche il più diffuso. Quello che segue, l'elio, è il secondo più diffuso. Se il mondo fosse ordinato secondo criteri di eleganza, il terzo della serie, il litio, dovrebbe essere il terzo più diffuso, e così via. Ma l'universo non è disposto come piacerebbe a noi: il terzo elemento più abbondante è l'ossigeno, che nella sequenza atomica occupa il numero 8. Perché? Dal punto di vista strettamente scientifico, la risposta potrebbe trovarsi nel fatto che l'ossigeno ha un nucleo molto stabile, che non si disintegra o decade. Il che non fa che spostare la domanda più a monte: perché certi elementi hanno nuclei più stabili di altri?

Con acume maggiore di molti suoi colleghi, Goeppert-Mayer vide un parallelo tra questa situazione e quella in cui si trovano i gas nobili. Dunque era possibile che i protoni e i neutroni nel nucleo fossero disposti in strati concentrici come gli elettroni e che la stabilità fosse dovuta al riempimento dei vari livelli. A un profano l'idea può sembrare convincente, ma non si vincono i premi Nobel sulla base di semplici congetture, soprattutto se a proporle sono donne che lavorano gratis. La tesi di Goeppert-Mayer, oltretutto, cozza-

va contro salde credenze. Poiché i processi nucleari e le reazioni chimiche avvengono in modo indipendente, non c'è motivo per cui i solidi e domestici neutroni e protoni debbano seguire le gesta degli evanescenti e capricciosi elettroni, che se ne vanno di casa a caccia di vicini più interessanti. E in effetti è quasi sempre così.

Ma Goeppert-Mayer non mollò la presa. Mettendo insieme i risultati di vari esperimenti a prima vista slegati tra loro, dimostrò che nel nucleo ci sono davvero strutture a guscio e che nei casi stabili, corrispondenti ai cosiddetti «numeri magici», i nucleoni sono sistemati in modo da completare i livelli. Per una serie di complesse ragioni matematiche, i numeri magici non seguono schemi regolari come quelli della tavola periodica, ma sembrano messi a caso: i primi sono infatti 2, 8, 20, 28, 50 e 82. Goeppert-Mayer provò dunque che quando la somma di protoni e neutroni è pari a un numero magico, le particelle sono disposte con una struttura sferica, altamente stabile e simmetrica. Osserviamo che l'ossigeno ha sia otto protoni sia otto neutroni, il che lo rende doppiamente magico e dunque stabile in eterno: ecco il motivo della sua apparente sovrabbondanza. Il modello di Goeppert-Mayer si applica anche senza difficoltà a tutti gli altri elementi in sovrannumero, come per esempio il calcio (che ha il numero magico 20). Non è una coincidenza che il nostro organismo utilizzi soprattutto questi elementi, facili da reperire in natura.

La teoria di Goeppert-Mayer ha in sé un'eco della predilezione platonica per le forme perfette. Il suo modello fatto di sfere e numeri magici è divenuto lo standard di bellezza per giudicare i nuclei. Come si può verificare, gli elementi troppo distanti da quei valori ideali sono meno diffusi perché i loro nuclei sono brutti e oblungi. Uno in particolare, l'olmio (numero atomico 67), ha isotopi talmente affamati di neutroni che i loro nuclei assumono la forma di un pallone da rugby. Come si può dedurre dal modello di Goeppert-Mayer, o osservando i rimbalzi di una palla ovale, questi elementi sono poco stabili. E contrariamente agli atomi con un numero di elettroni squilibrato, non possono andare a caccia di protoni e neutroni per bilanciarsi. In realtà, nuclei

sbilenchi come quello dell'isotopo dell'olmio si presentano molto raramente in natura e in genere si disgregano non appena formati.

Il modello a guscio della struttura del nucleo atomico è una scoperta fisica di prim'ordine. Non c'è dubbio che Goepfert-Mayer, il cui status di scienziata continuava a essere precario, fu amareggiata nell'apprendere che un gruppo di ricercatori suoi connazionali era pervenuto allo stesso risultato. C'era il rischio che il suo lavoro non fosse riconosciuto; ma le scoperte erano avvenute in modo indipendente, e gli scienziati tedeschi correttamente le attribuirono il merito e le offrirono di collaborare con loro. La carriera di Goepfert-Mayer finalmente prese una svolta. Ebbe onori e riconoscimenti e si trasferì definitivamente con il marito a San Diego, dove presso il campus nuovo di zecca dell'Università della California le fu offerta una cattedra vera con tanto di stipendio. Eppure non riuscì a scrollarsi di dosso completamente la fama di dilettante. Quando nel 1963 l'Accademia di Svezia annunciò al mondo che la signora era degna del premio più importante di tutti, un giornale locale titolò: «Una madre di famiglia di San Diego vince il premio Nobel».

Ma forse è solo una questione di contesto. Se lo stesso giornale avesse pubblicato un articolo simile a lui dedicato, Gilbert Lewis ne sarebbe stato probabilmente entusiasta.

Leggere la tavola periodica riga per riga ci fa capire molte cose, ma siamo appena agli inizi e le storie migliori devono ancora arrivare. Gli elementi situati nella stessa colonna, vicini di longitudine, sono in realtà molto più strettamente imparentati. In genere gli alfabeti si leggono riga per riga, da sinistra a destra (o viceversa in certi casi); ma per affrontare la tavola periodica è meglio fare come i giapponesi e leggerla dall'alto in basso, colonna per colonna. In questo modo ci accorgiamo di un complesso sottotesto, una rete di relazioni tra gli elementi con tanto di inaspettate rivalità e antagonismi. La tavola segue una grammatica tutta sua e per scoprire nuove storie bisogna imparare a leggere tra le righe.

FRATELLI DI SANGUE E PECORE NERE: LA GENEALOGIA DEGLI ELEMENTI

6 C 12,011	14 Si 28,086	32 Ge 72,641
------------------	--------------------	--------------------

Shakespeare ha messo a segno un bel colpo con *honorificabilitudinitatibus*, che a seconda delle interpretazioni significa «la condizione di essere in grado di acquisire cariche» o è un anagramma in cui si nasconde la verità: fu Francesco Baccione, non il Bardo, a scrivere le sue opere.¹

È ovvio che mettersi alla ricerca della parola in assoluto più lunga nella lingua inglese è come tuffarsi in un mare agitato: si rischia di perdere l'orientamento, perché le onde, come i linguaggi umani, sono fluide e possono cambiare direzione. La definizione di «parola inglese», tanto per iniziare, cambia a seconda del contesto. La creazione di Shakespeare, pronunciata da Zucca in *Pene d'amor perdute*, è chiaramente di origine latina, dunque forse non conta. Che dire poi delle parole allungate artificialmente con suffissi e prefissi (esempio: *antidisestablishmentarianism*, ventotto lettere) o di quelle prive di senso (come il *supercalifragilisticexpialidocious* di Mary Poppins, trentaquattro lettere)? È chiaro che uno scrittore può allungare il brodo fino a farsi venire i crampi alla mano.

Ma se partiamo da una definizione precisa, cioè «la più lunga parola apparsa in un documento scritto in inglese, non coniata appositamente allo scopo di battere il record», allora dobbiamo riconoscere la palma d'oro a quella apparsa in un

articolo del 1964 pubblicato nella rivista «Chemical Abstracts», bibbia di riferimento dei chimici. Si tratta della descrizione di un'importante proteina, che per gli storici della scienza è quasi sicuramente il primo virus mai scoperto, nel 1892: il virus del mosaico del tabacco. Prendete fiato, eccola qua:

acetylseryltyrosylserylisoleucylthreonylserylprolylseryl-glutaminyl-phenylalanylvalylphenylalanylleucylserylseryl-valyltryptophylalanylasparylprolylisoleucylglutamyl-leucylleucylasparaginyvalylcysteinylthreonylserylseryl-leucylglycylasparaginyglutaminylphenylalanylglutaminylthreonylglutaminylglutaminylalanylarginylthreo-nylthreonylglutaminylvalylglutaminylglutaminylphenylalanylserylglutaminylvalyltryptophyllsylprolylphenylalanylprolylglutaminylserylthreonylvalylarginylphenylalanylprolylglucylaspartylvalyltyrosyllsylvalyltyrosylarginyltyrosylasparaginyalanylvalylleucylaspartylprolylleucylisoleucylthreonylalanylleucylleucylglycylthreonylphenylalanylasparylthreonylarginylasparaginylarginylisoleucylisoleucylglutamylvalylglutamylasparaginyglutaminylglutaminylserylprolylthreonylthreonylalanylglutamylthreonylleucylaspartylalanylthreonylarginylarginylvalylasparaginyalanylthreonylvalylalanylisoleucylarginylserylalanylasparginylisoleucylasparaginylleucylvalylasparaginylglutamylleucylvalylarginylglycylthreonylglucylleucyl-tyrosylasparaginyglutaminylasparaginylthreonylphenylalanylglutamylserylmethionylserylglycylleucylvalyltryptophylthreonylserylalanylprolylalanylserine

Questo serpentone verbale è lungo 1185 lettere.²

Credo che nessuno di voi l'avrà letta davvero tutta da cima a fondo, ma vi esorto a dare un'occhiata generale alla sua forma. Noterete che ci sono stranezze nella frequenza delle lettere. La più comune statisticamente nella lingua inglese, la «e», vi compare 65 volte, mentre l'assai più rara «y» è ripetuta 183 volte. La «l» ha 255 occorrenze, pari al 22 per cento del totale. La «l» e la «y» non sono messe a caso, ma appaiono sempre nella combinazione «yl»: 166 coppie, circa ogni sette lettere. Non è una coincidenza. Questo scioglilingua descrive una proteina, e le proteine si costruiscono a partire dal sesto elemento della tavola periodica, nonché il più versatile di tutti: il carbonio.

Il carbonio è la spina dorsale degli aminoacidi, che accostandosi uno all'altro come perle in una collana formano le proteine. Il mosaico del tabacco, per esempio, è fatto di 159 aminoacidi. Sono di tanti tipi, e in biochimica per scriverli di fila si usa una semplice convenzione: si sostituisce la desinenza «-ina» (come in «serina» o «isoleucina») con «-yl» (quindi «seryl» e «isoleucyl»). Ecco perché nella descrizione completa di una proteina compaiono tante coppie «yl». Chiunque abbia una normale conoscenza dell'inglese sa che una parola come «website» è composta e ne capisce immediatamente il senso; allo stesso modo i biochimici, fino ai primi anni Sessanta del secolo scorso, leggevano parole come quella sopra, che inizia per «acetyl» e finisce con «serine», ed erano in grado di ricostruire la forma della molecola. Era un sistema preciso ma faticoso nella pratica. Storicamente ciò rifletteva la predilezione per le parole composte del tedesco, lingua degli studiosi che a lungo dominarono il campo della chimica.

Perché gli aminoacidi tendono ad ammucchiarsi in questo modo? Perché il carbonio occupa un posto particolare nella tavola periodica e ha la tendenza a riempire con otto elettroni il suo livello energetico più alto (questa è una regola pratica che in gergo si dice «regola dell'ottetto»). Nella scala dell'aggressività con cui gli atomi e le molecole cercano di strapparsi elettroni a vicenda, gli aminoacidi stanno nella zona più civilizzata. Contengono sempre ossigeno a un'estremità, azoto all'altra e due atomi di carbonio in mezzo (oltre a idrogeno e varie sottocatene di una ventina di tipi, ma la cosa qui non ci interessa). Ossigeno, azoto e carbonio obbediscono alla regola dell'ottetto, con maggiore o minore facilità a seconda della loro natura. L'ossigeno è l'elemento numero 8 e ha proprio otto elettroni, due nel livello interno e sei in quello esterno; dunque è sempre a caccia di due particelle da aggiungere alla sua dotazione. Non è un compito difficile per un elemento aggressivo come l'ossigeno, che non si fa scrupoli a dettare legge e a strapparli agli atomi più deboli. Il povero carbonio ha sei elettroni, dunque, seguendo lo stesso ragionamento, deve cercarne quattro per

arrivare all'ottetto, impresa assai più ardua. Per sfruttare ogni occasione, il carbonio si accontenta di quel che passa il convento e forma legami con quasi ogni altro atomo.

Questa promiscuità è la sua principale virtù. Contrariamente all'ossigeno, il carbonio si allea con gli altri elementi appena può, arrivando a condividere fino a quattro elettroni per volta. Ciò gli permette di formare lunghe catene e anche reticoli tridimensionali, che sono particolarmente stabili perché gli elettroni sono, appunto, condivisi e non strappati in giro. Anche l'azoto deve formare legami per essere felice, ma non è promiscuo come il carbonio. Le proteine come il serpentone visto sopra esistono proprio grazie a questa semplice proprietà della materia. Un atomo di carbonio all'interno di un aminoacido può condividere un elettrone con uno di azoto all'estremità di un'altra catena, e a furia di collegare pezzi in questo modo, potenzialmente all'infinito, come lettere di un parola lunghissima, si costruiscono le proteine.

Oggi in realtà siamo in grado di decifrare molecole assai più grandi di quella del mosaico del tabacco. L'attuale record appartiene a un Gargantua il cui nome conterrebbe, se lo scrivessimo per esteso, 189 819 lettere. Negli anni Sessanta del secolo scorso si resero disponibili nuove tecniche per il sequenziamento rapido degli aminoacidi e gli scienziati si resero conto che ben presto avrebbero potuto trovarsi di fronte a nomi lunghi quanto questo libro (e voglio proprio vedere chi corregge le bozze di un simile incubo). Quindi mollarono lo scomodo sistema tedesco e introdussero regole per produrre termini più corti e meno impressionanti, anche a livello ufficiale. La molecola di 189 819 lettere, ad esempio, per la gioia di tutti è denominata titina.³ La mia sensazione è che in futuro nessuno proverà a battere il record del mosaico del tabacco pubblicando il nome per esteso di un'altra proteina.

Il che non significa che i lessicografi a caccia di stranezze debbano tralasciare i manuali di biochimica. Le scienze mediche sono sempre state una fonte sicura di parole ridicolmente lunghe. Il termine non strettamente tecnico con più lettere contenuto nell'*Oxford English Dictionary*, tra l'altro, è costruito attorno all'elemento chimico parente

prossimo del carbonio, un elemento che spesso si cita come possibile base per forme di vita alternative in altre galassie: il silicio.

In un albero genealogico, i genitori, che stanno più in alto, danno vita a figli simili a loro. Allo stesso modo il carbonio ha molte più affinità con l'elemento che gli sta sotto, il silicio, che con i suoi vicini di riga, il boro e l'azoto. Già sappiamo il perché. Il carbonio è il numero 6, il silicio il 14: la differenza di otto non è casuale, se ricordiamo la regola dell'ottetto. Nel silicio due elettroni riempiono il primo livello energetico e otto il secondo; ne avanzano quattro, quindi questo elemento ha gli stessi problemi del carbonio. Ma anche, in parte, la sua stessa versatilità. E poiché questa versatilità è direttamente collegata al potere di creare molecole organiche, la somiglianza tra silicio e carbonio ha fatto sognare generazioni di appassionati di fantascienza, convinti della possibilità di forme di vita alternative, cioè aliene, basate su una chimica diversa da quella terrestre. Ma un albero genealogico non fotografa un destino, e i figli non sono mai esattamente uguali ai genitori: se da un lato silicio e carbonio hanno davvero molti tratti in comune, dall'altro sono pur sempre elementi distinti che formano diversi tipi di composti. E mi spiace per i fanatici di fantascienza, ma il primo non è in grado di compiere tutte le meravigliose magie del secondo.

Iniziamo a studiare il silicio in modo divertente, partendo da un'altra parola record, un vero scioglilingua. Siamo onesti: la proteina di 1185 lettere vista sopra ha un nome prosaico, il cui interesse sta solo nella sua forma curiosa, simile all'espansione decimale di π greco alla miliardesima cifra. Per contrasto, il termine non strettamente tecnico più lungo contenuto nell'*Oxford English Dictionary* ha quarantacinque lettere ed è il nome di una malattia che contiene la radice «silico-»: *pneumonoultramicroscopicsilicovolcanoconiosis*, un gigante che gli appassionati di questioni lessicali chiamano familiarmente con il nomignolo «p45». Dal punto di vista medico, c'è chi nega che si tratti di un termine legittimo, perché si tratterebbe solo di una variante della pneumoco-

niosi, un'affezione polmonare incurabile dai sintomi simili alla polmonite, causata dall'inalazione di polveri. Tra le sue varianti c'è l'asbestosi, provocata dall'esposizione all'amianto, e appunto la silicosi, dovuta all'inalazione di polvere di pietre, o sabbia, contenenti silice. Ne sono spesso affetti gli operai che lavorano con levigatrici o smerigliatrici, e in generale chi è esposto alla polvere di vetro (ad esempio chi fabbrica isolanti). Non solo: poiché la silice, o biossido di silicio (SiO_2), è il minerale più comune nella crosta terrestre, sono a rischio anche tutti coloro che vivono vicino a un vulcano attivo. I vulcani più effervescenti, infatti, sono in grado di polverizzare la silice e di spargerla nell'aria con grande potenza; una volta in sospensione, questa può finire dentro gli alveoli polmonari. Ma il nostro organismo è abituato alla presenza di un parente prossimo di questo composto, il biossido di carbonio (o anidride carbonica, CO_2), quindi non fa troppe storie e lo assorbe, il che può avere conseguenze fatali. Forse i dinosauri furono sterminati in questo modo sessantacinque milioni di anni fa, quando un meteorite grande come una metropoli si schiantò sulla Terra.

Detto questo, vediamo di esaminare la nostra p45 dividendola in componenti. Descrive la malattia causata dall'inalazione di polveri sottili ricche di silice prodotte da una eruzione vulcanica (e dal fatto che la gente respira più forte mentre fugge dalla catastrofe): *pneumono-ultra-micro-scopic-silico-volcano-coniosis* si spiega da sé. Prima di farvi belli con questa parola nei salotti, sappiate che è detestata da molti puristi; fu infatti coniata nel 1935 da un tale per vincere un concorso di enigmistica ed è per questo che molti la disprezzano, considerandola artificiale. Anche i solitamente impassibili curatori dell'*Oxford English Dictionary* la trattano male, definendola una «parola spuria» dal significato «presunto». Questo disgusto deriva dal modo in cui p45 è stata costruita, con aggiunte furbette di varie parole «reali»: è nata con la fecondazione assistita, non in modo naturale nel linguaggio quotidiano.

Ora esploriamo più a fondo le proprietà del silicio e vediamo se è in grado di formare catene su cui basare nuove forme di vita. Anche se il tema è fin troppo sfruttato dalla fantascienza,

in realtà la questione è importante, perché ci permette di andare oltre la nostra visione carboniocentrica. I partigiani del silicio fanno notare che esistono animali in cui questo elemento è già presente, come i ricci di mare (si trova negli aculei) e i radiolari, protozoi (organismi unicellulari) che usano il silicio per crearsi l'esoscheletro, cioè la corazza. Gli studi più avanzati nel campo dell'intelligenza artificiale sembrano indicare che il silicio potrebbe formare organi analoghi ai cervelli a base di carbonio: in teoria, non c'è motivo per cui un chip al silicio non potrebbe egregiamente sostituire un nostro neurone.

Ma p45 ci fornisce anche una lezione di chimica pratica che spegne molte speranze in merito. Chiaramente, una forma di vita a base di silicio dovrebbe riuscire a trasportare questo elemento dall'esterno all'interno dell'organismo e viceversa, nell'analogo della respirazione o della riparazione cellulare delle creature a base di carbonio. Sulla Terra, gli organismi in fondo alla catena alimentare (che sotto molti punti di vista sono le forme di vita più importanti) svolgono questo compito grazie al biossido di carbonio, un gas. Anche il silicio si lega quasi sempre all'ossigeno in natura, sotto forma di SiO_2 . Ma questo biossido, contrariamente all'altro, è solido, come la polvere vulcanica, e diventa gassoso solo a temperature molto distanti da quelle che pensiamo compatibili con la vita, cioè a circa 2200 °C. A livello di respirazione cellulare, avere a che fare con solidi non va bene, perché le particelle tendono a raggrupparsi e non scorrono in modo fluido, dunque è difficile per la cellula catturare le singole molecole, come è costretta a fare. Anche le forme di vita più rudimentali, l'equivalente siliceo del plancton, avrebbero serie difficoltà a respirare; quelle multicellulari! si troverebbero ancora più a mal partito. Senza un meccanismo per gli scambi gassosi con l'ambiente esterno, vegetali e animali silicei soffocherebbero nelle loro stesse scorie, come i polmoni (carbonici) dei poveretti affetti da p45.

Però potrebbero esistere altri meccanismi per il trasporto dei composti silicati, o no? In teoria sì, ma la silice ha anche il problema di non essere solubile in acqua, il liquido più abbondante nell'universo per quanto ne sappiamo. Queste

ipotetiche creature dovrebbero rinunciare ai vantaggi evolutivi portati dal sangue o da altri liquidi analoghi in grado di far circolare sostanze nutritizie e scorie. La vita silicea dovrebbe far affidamento solo sui solidi, che non si amalgamano facilmente. È davvero impossibile immaginare un organismo del genere in azione.

Inoltre, poiché contiene più elettroni di quello del carbonio, l'atomo di silicio è più ciiccio, come un uomo con una ventina di chili di troppo. In certi contesti ciò non costituisce un problema, e ad esempio il silicio potrebbe comportarsi egregiamente nell'equivalente marziano dei grassi o delle proteine. Ma oltre a catene, il carbonio forma anche molecole chiuse: quelle che noi chiamiamo zuccheri, o carboidrati. Gli anelli di queste molecole sono in uno stato fisico di alta tensione (dunque possono immagazzinare molta energia), in forme che il silicio, meno agile, non è in grado di emulare. Un problema analogo è dato dal fatto che gli atomi di silicio non riescono a infilare i loro elettroni in spazi angusti per creare quei legami doppi che appaiono praticamente in tutte le molecole complesse (quando due atomi mettono in comune due elettroni si ha un legame semplice, quando ne condividono quattro il legame si dice doppio). La biochimica del silicio si troverebbe con centinaia di forme teoricamente possibili ma non disponibili per costruire molecole in grado di immagazzinare energia chimica o costruire ormoni. Tirando le somme, solo uno scienziato particolarmente audace potrebbe sostenere che un organismo a base di silicio sarebbe in grado di crescere, reagire agli stimoli, riprodursi e attaccare le prede. (Notiamo che ricci e radiolari usano i silicati solo per costruire elementi strutturali, non per la respirazione o per altre reazioni). Il fatto stesso che la vita sulla Terra si sia evoluta a partire dal carbonio e non dall'assai più abbondante cugino è una prova di quanto sia più plausibile.⁴ Non sono così avventato da escludere totalmente la possibilità di una biologia a base di silicio, ma a meno di trovarsi di fronte a creature che secernono sabbia e vivono in pianeti pieni di vulcani sempre attivi che forniscono loro polvere di silice, non credo ci siano molte probabilità.

Per sua fortuna, il silicio ha trovato comunque un modo

per assicurarsi fama imperitura. Al pari di un virus, creatura semi-organica, si è infilato in una nicchia evolutiva ed è sopravvissuto come parassita, alle spalle dell'elemento subito sotto di lui nella tavola periodica.

Nella colonna del carbonio e del silicio ci sono altre interessanti questioni genealogiche. Sotto i due nostri elementi troviamo, gradino dopo gradino, il germanio, lo stagno e il piombo. È una vera stranezza: passiamo dall'elemento responsabile per la vita sulla Terra a quelli che hanno permesso la nascita dell'elettronica, per arrivare a un metallo grigio e poco interessante, con cui si fanno le lattine, e a un altro metallo che ci sembra decisamente ostile alla vita. Passetto dopo passetto, la tavola periodica ci ricorda che le similarità in verticale sono parecchie, ma che le diversità si accumulano.

La storia ci insegna che in ogni famiglia c'è una pecora nera, quella per cui si abbandona ogni speranza. Nella colonna quattordici il ruolo spetta al germanio, un elemento tristanzuolo e sfortunato. Oggi nei microchip, nei computer e nelle auto utilizziamo semiconduttori a base di silicio, grazie ai quali siamo andati sulla Luna e navighiamo in internet. Ma se la storia avesse preso una piega diversa sessantanni fa, oggi tutti parlerebbero della celebre *Germanium Valley* dalle parti di San Francisco.

La moderna industria dei semiconduttori ebbe inizio nel 1945 ai Bell Laboratories, nel New Jersey, non lontano dal laboratorio dove settantanni prima Thomas Alva Edison aveva fatto le sue invenzioni. William Shockley, fisico e ingegnere elettrico, stava ideando un amplificatore di piccole dimensioni per rimpiazzare i tubi a vuoto con cui si costruivano i grandi calcolatori dell'epoca. Tutti li detestavano, perché erano complicati da produrre, fragili e si surriscaldavano facilmente. Però non c'erano alternative, visto che non si conoscevano altri marchingegni in grado di svolgere il loro doppio compito: amplificare i segnali elettrici, in modo da non far morire quelli deboli, e agire come una sorta di barriera monodirezionale, in modo che gli elettroni non scorressero

nella direzione sbagliata dentro i circuiti (provate a immaginare i problemi che creerebbe uno sciacquone bidirezionale). Shockley voleva fare ai tubi a vuoto lo stesso scherzo che Edison aveva combinato alle candele, e sapeva che la soluzione stava nei semiconduttori. Questi erano gli unici elementi capaci di raggiungere un compromesso tra due esigenze ingegneristiche: facevano passare un numero sufficiente di elettroni per creare una corrente (questa era la parte «conduttori»), ma non tanti da creare problemi di controllo del flusso (quindi «semi-»). Shockley però era più un visionario che un tecnico e progettava semiconduttori al silicio che non combinavano un bel nulla. Dopo due anni di tentativi andati a vuoto, frustrato, si sbarazzò del lavoro affibbiandolo a due sottoposti, John Bardeen e Walter Brattain.

Secondo un loro biografo, tra i due «c'era tutto l'affetto materialmente possibile tra due uomini... Di questo organismo simbiotico, Bardeen sembrava la mente e Brattain la mano». ⁵ Era un rapporto che conveniva a entrambi, perché Bardeen, che poteva essere l'uomo su cui coniare la definizione di «testa d'uovo», era parecchio impacciato nei lavori manuali. L'organismo simbiotico si accorse presto che il silicio era troppo fragile e difficile da purificare, dunque non poteva servire per costruire un amplificatore. Il germanio invece, che ha gli elettroni esterni su un livello energetico più alto, e dunque meno strettamente legati all'atomo, si dimostrò un conduttore migliore. Grazie a questo elemento, Bardeen e Brattain riuscirono a costruire il primo amplificatore a stato solido nel dicembre 1947. Lo battezzarono *transistor*.

La scoperta avrebbe dovuto fare la felicità di Shockley, che però si trovava a Parigi per le vacanze di Natale, dunque non poteva in tutta onestà sostenere di aver contribuito al successo delle ricerche (senza contare che aveva usato per anni l'elemento sbagliato). Si mise allora a cercare un modo per attribuirsi il merito. Non che fosse particolarmente malvagio: era solo incrollabile nelle sue convinzioni e si era convinto di aver fatto il lavoro più importante ai fini della scoperta del transistor. (Questa certezza di essere sempre dalla parte della ragione ritornò a galla negli ultimi anni della sua vita, quando

ormai in declino come ricercatore abbandonò la fisica dello stato solido per l'eugenetica, la pseudoscienza volta a creare esseri umani «migliori». Propugnava l'idea di una casta brahminica di superintelli-genti e a tal scopo donò il suo sperma a una apposita «banca dei geni»;⁶ sosteneva anche che i poveri e le minoranze razziali dovevano essere sterilizzati, dietro compenso, per non far diminuire il QI medio dell'umanità).

Tornato di corsa da Parigi, Shockley si infilò a forza nell'avventura del transistor. Nelle foto diffuse dai Bell Laboratories i tre ricercatori sono sempre insieme, apparentemente al lavoro, e il boss è sempre in mezzo ai due sottoposti, come a voler separare l'organismo simbiotico. In genere allunga le mani su qualche marchingegno, obbligando Bardeen e Brattain a sbirciare come se fossero solo due aiutanti. Le immagini divennero la rappresentazione ufficiale della realtà e nella comunità scientifica si diffuse l'idea che la scoperta fosse dovuta a tutti e tre. Shockley, signore dispettoso e vendicativo del suo regno, riuscì a far trasferire il suo vero rivale Bardeen a un altro laboratorio, dove si svolgevano ricerche di tutt'altra natura, in modo da poter lavorare da solo a una seconda generazione, più commercializzabile, di transistor al germanio. Bardeen, prevedibilmente, si licenziò di lì a poco per intraprendere la carriera accademica in un'università dell'Illinois. Disgustato dalla vicenda, non fece mai più ricerche sui semiconduttori.

Anche la storia del germanio non fu a lieto fine. Nel 1954 le fabbriche di transistor erano spuntate come funghi e il potere di calcolo dei computer si era moltiplicato per vari ordini di grandezza. Nuovi prodotti come le radioline tascabili cominciavano a vedersi sul mercato. Ma gli ingegneri, noncuranti del boom, continuavano ad adocchiare con cupidigia il silicio. Il germanio era capriccioso; conduceva bene l'elettricità, ma come conseguenza tendeva a surriscaldarsi, e i circuiti si bloccavano ad alte temperature. Ma soprattutto, il silicio era molto a buon mercato, visto che lo si poteva trovare letteralmente nella polvere. I tecnici rimasero fedeli al germanio, ma sognavano con cupidigia di poter un giorno utilizzare il rivale.

Nel 1954, nel corso di una fiera specializzata del settore, ap-

parve dal nulla un ingegnere burlone del Texas, che dopo un noioso discorsetto sull'impraticabilità dei transistor al silicio annunciò di punto in bianco che ne aveva un prototipo in tasca. I signori gradivano forse una dimostrazione? Questo erede di Barnum, che rispondeva al nome di Gordon Teal, collegò un giradischi (che funzionava con transistor al germanio) a due altoparlanti, lo mise in funzione e poi, con un gesto da alchimista, ne immerse la circuiteria in un pentolone di olio bollente. Come da copione, la macchina esalò subito l'ultimo respiro. Fatto ciò, collegò il giradischi a una nuova circuiteria fatta con elementi di silicio. Ripeté l'esperimento e la musica non si fermò. La mandria dei convenuti si precipitò al primo telefono a gettoni per rendere partecipe il mondo della scoperta, e in men che non si dica l'era del germanio era finita.

Per fortuna, questa parte della storia si concluse bene per Bardeen e Brattain, anche se con un pizzico di ingiustizia. Le loro ricerche sui semiconduttori al germanio furono considerate così importanti da meritare loro il premio Nobel per la fisica nel 1956, da dividere ahimè con Shockley. Bardeen apprese la notizia alla radio (che probabilmente allora già montava transistor al silicio) mentre si stava preparando la colazione del mattino. Per l'emozione, fece cadere a terra le uova strapazzate che stava preparando per tutta la famiglia. Non fu l'unico suo pasticcio legato al Nobel. Poco prima del gran giorno, a Stoccolma, lavò assieme a dei capi colorati la camicia e il gilet bianchi del frac (un'ingenuità da matricola appena uscita di casa), macchiandoli di verde. Il giorno della cerimonia i due amici erano talmente emozionati all'idea di incontrare il re Gustavo che si presero qualche pillola di chinino per calmare lo stomaco. Servì a poco. Il sovrano rimproverò a Bardeen di aver lasciato a casa i figli (studiavano a Harvard e il padre non voleva che saltassero un esame), al che lui replicò con una risatina forzata che li avrebbe portati con sé in occasione del suo prossimo premio Nobel.

Imbarazzi e gaffe a parte, quel giorno segnò il punto più alto nella storia dei semiconduttori, anche se la gloria fu di breve durata. L'Accademia Reale Svedese delle Scienze, che assegna i premi per la chimica e la fisica, all'epoca predili-

geva le ricerche teoriche, e la vittoria di una scoperta così ingegneristica fu un insolito riconoscimento alla ricerca applicata. Ma già due anni dopo, nel 1958, l'industria dei transistor dovette affrontare un'altra crisi. E con Bardeen fuori dai giochi c'era spazio per un altro protagonista.

Ecco entrare nella nostra storia Jack Kilby (che probabilmente ha chinato il capo per passare dalla porta, visto che era alto quasi due metri). Questo nativo del Kansas, lento di parola e con il viso bruciato dal sole, aveva passato dieci anni in un'azienda tecnologica di secondo piano dalle parti di Milwaukee prima di ottenere un posto alla Texas Instrument nel 1958. Laureato in ingegneria elettrica, Kilby fu assunto per far parte di un team dedicato alla soluzione di un problema di progettazione dei circuiti noto come «tirannia dei numeri». I transistor di silicio erano economici e funzionavano bene, ma i calcolatori più evoluti ne avevano bisogno di enormi quantità. Industrie come la Texas Instrument assumevano centinaia di lavoratori di basso livello e bassa paga, quasi tutti donne, che passavano la giornata in enormi capannoni piegate su un microscopio a saldare pezzettini di silicio sudando nelle loro tute antipolvere. Il procedimento era costoso quanto inefficiente, perché era quasi inevitabile che i fragili fili dei circuiti si rompessero o si scollegassero, obbligando a rifare il lavoro da capo. Eppure non c'era alternativa, visto che la produzione aveva davvero bisogno di tantissimi transistor: era la tirannia dei numeri.

Kilby arrivò alla Texas Instrument in una rovente giornata di giugno. Come neoassunto non aveva diritto alle vacanze estive, e così quando le migliaia di operaie partirono per le ferie di luglio si trovò da solo nel suo laboratorio. Quel meraviglioso silenzio senza dubbio lo convinse del fatto che utilizzare un esercito simile per la produzione era una grande stupidaggine. Senza l'interferenza dei suoi superiori, ebbe tempo libero per sviluppare un'idea che gli ronzava in testa: il circuito integrato. I transistor non erano gli unici componenti a dover essere assemblati a mano: c'erano anche resistenze al carbonio e condensatori di porcellana da unire con miriadi di fili di rame, che davano al tutto l'aspetto di una mi-

croscopica spaghetтата. Kilby pensò che era meglio evitare il montaggio di elementi separati e costruire invece ogni componente (resistenze, transistor e condensatori) intagliandolo, per così dire, in un pezzo unico di semiconduttore. Per usare una metafora, si passava dalle statue costruite unendo con fil di ferro tanti frammenti separati a quelle scolpite a partire da un unico blocco di marmo. Era un'idea rivoluzionaria dal punto di vista strutturale ed estetico. Poiché Kilby non si fidava del silicio come materiale per resistenze e condensatori, costruì il suo prototipo con il germanio.

Una volta perfezionato, il circuito integrato liberò i tecnici dalla tirannia dell'assemblaggio. Poiché i pezzi erano tutti ricavati dallo stesso blocco, nessuno doveva saldarli. E ben presto nessuno dovette più cavarli gli occhi, perché la nuova tecnologia permise di automatizzare il processo di incisione e di ridurre a dimensioni microscopiche i transistor, primo passo verso i microchip. Kilby non ebbe all'epoca riconoscimenti ufficiali (uno dei cocchi di Shockley pochi mesi dopo brevettò un prototipo dal progetto leggermente più dettagliato e strappò così i diritti di sfruttamento commerciale alla Texas Instrument), ma fu portato in palmo di mano dai colleghi. La massima lode al suo lavoro è data dal fatto che oggi, cinquant'anni dopo, i chip si costruiscono ancora secondo il suo progetto di massima, cosa assai notevole in un settore che in genere rinnova i metodi di produzione ogni pochi mesi. Nel 2000, con notevole ritardo, gli fu assegnato il Nobel per la scoperta del circuito integrato.⁷

Purtroppo però non ci fu nulla da fare per la reputazione del germanio. Il prototipo di Kilby è immortalato nelle collezioni della Smithsonian Institution, ma nella feroce realtà della competizione commerciale vinse per ko il silicio, enormemente più economico e di facile reperibilità. E nota l'affermazione di Newton per cui tutte le sue scoperte furono possibili perché si era issato sulle spalle di giganti, cioè dei grandi scienziati che erano venuti prima di lui. Lo stesso potrebbe dirsi del silicio, divenuto un'icona della modernità grazie al lavoro del germanio, ormai relegato nell'anonimato della tavola periodica.

A dire il vero, molti elementi sono accomunati dallo stes-

so triste fato: nessuno li conosce, anche se meriterebbero maggior fama. I nomi dei loro scopritori e di chi li collocò al giusto posto nella tavola quasi sempre sono dimenticati. Il silicio è tra i pochi universalmente conosciuti, assieme ad altri che a volte lo sono per ragioni non proprio nobili. I primi chimici che si dedicarono alla classificazione sistematica degli elementi si resero conto delle somiglianze tra certi gruppi, come nella triade carbonio, silicio e germanio; riconoscere queste proprietà fu il primo passo verso l'idea di una tavola periodica. Alcuni di questi scienziati mostrarono un talento speciale nella scoperta di sottili affinità, di tratti che si ripropongono nelle famiglie di elementi come le lentiggini o i nasi storti in certe famiglie di umani. Aver compreso come riconoscere e prevedere tali proprietà permise a uno di loro, Dmitrij Ivanovic Mendeleev, di entrare trionfalmente nella storia della scienza come padre della tavola periodica.

LE GALAPAGOS DELLA TAVOLA PERIODICA

³³ As 74.922	³¹ Ga 69.723	⁵⁸ Ce 140.116	³⁹ Y 88.906	⁷⁰ Yb 173.043	⁶⁸ Er 167.259	⁶⁵ Tb 158.925
-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

La storia della tavola periodica è intimamente intrecciata a quella dei tanti scienziati che hanno contribuito a darle forma. Il primo di loro ha avuto l'onore di vedere il suo cognome trasformato in un sostantivo comune, come il dottor Guillotin, Etienne de Silhouette, il conte di Sandwich o George Pullman – a volte è incredibile pensare che siano davvero esistite persone chiamate così. Questo pioniere della tavola periodica merita una lode speciale, perché lo strumento che da lui prende il nome è stato una fonte inesauribile di scherzi e prodezze per generazioni di studenti. Si resta un po' delusi nello scoprire che Robert Bunsen – perché stiamo parlando di lui – in realtà non inventò il «becco» eponimo, ma perfezionò un modello preesistente e lo portò al successo alla metà dell'Ottocento. Ma con o senza becco, questo chimico tedesco ebbe una vita piena di pericoli e disastri assortiti.

Il primo amore di Bunsen fu l'arsenico, l'elemento numero 33. Anche se la sua reputazione come veleno risale ai tempi antichi (a Roma gli assassini lo usavano spalmato sui fichi), le sue proprietà chimiche (lecite, s'intende) erano praticamente sconosciute prima che il nostro eroe iniziasse a riempirne varie provette per studiarlo meglio. Si occupò soprattutto del cacodile, un composto dell'arsenico il cui nome deriva dal

termine greco che significa «puzzolente». Bunsen scrisse che il suo odore mefitico gli procurava addirittura allucinazioni, «formicolio a mani e piedi, a volte giramento di testa e insensibilità», mentre la lingua «si copriva di una patina nera». Spinto forse dall'istinto di autoconservazione, presto scoprì un composto che ancor oggi rappresenta l'antidoto più efficace all'intossicazione da arsenico: l'idrossido ferrico, parente della ruggine, in grado di legarsi con il veleno nel sangue e favorirne l'eliminazione. Ma non sempre Bunsen riuscì a proteggersi dai pericoli del laboratorio. Per distrazione, fece esplodere una provetta piena di arsenico che quasi gli cavò un occhio, rendendolo semicieco per i successivi sessant'anni.

Dopo l'incidente, si decise a lasciar perdere i veleni e ad assecondare la sua passione per gli esplosivi. Bunsen era affascinato dai fenomeni geotermici, il che lo portò a condurre lunghe ricerche su geyser e vulcani, di cui raccoglieva in prima persona campioni di gas e liquidi bollenti. Riuscì a ricreare in laboratorio un geyser artificiale e scoprì il meccanismo per cui la pressione aumentava fino a farli eruttare. Dopo il 1850, Bunsen tornò alla chimica propriamente detta e ottenne una cattedra all'Università di Heidelberg. Ben presto si assicurò un posto nella storia della scienza per l'invenzione (insieme con Kirchhoff) dello spettroscopio, strumento che usa la luce per studiare gli elementi chimici. Quando viene riscaldato, ogni elemento della tavola emette righe caratteristiche, strette e ben delimitate, di luce colorata. L'idrogeno, per esempio, emette una riga rossa, una verde-giallastra, una azzurra e una indaco. Dunque, se riscaldiamo una sostanza ignota e vediamo che il suo spettro comprende queste righe, siamo sicuri che contiene idrogeno. È una scoperta davvero importante, che all'epoca fornì agli scienziati un primo strumento per penetrare il mistero dei composti senza distruggerli, facendoli evaporare o sciogliendoli in acido.

Per costruire il primo spettroscopio, Bunsen e uno dei suoi studenti montarono un prisma all'interno di una scatola di sigari vuota, a cui erano attaccati gli oculari tolti a un telescopio, che servivano per guardare dentro allo strumento come se si trattasse di un diorama. A quel punto,

l'unica difficoltà era la produzione di calore in quantità sufficiente per eccitare gli elementi. Fu così che Bunsen inventò l'apparecchio che lo rese un eroe per generazioni di giovani aspiranti stregoni, i quali grazie a lui hanno fuso righe e dato fuoco a matite. Prese il primitivo bruciatore a gas di un tecnico del posto e gli attaccò una valvola in grado di regolare il flusso d'aria (chi di voi ci ha giocherellato nei laboratori scolastici si ricorderà una rotellina alla base del becco). La fiamma generata, da incostante e arancione che era, si trasformò nella ordinata e sibilante colonnina azzurra che oggi si vede anche in un buon fornello a gas.

I lavori di Bunsen fecero compiere un salto in avanti alla tavola periodica. Lui era personalmente contrario all'idea di classificare gli elementi in base al loro spettro, ma altri colleghi non si fecero troppi problemi e iniziarono subito a identificare nuovi elementi con l'apparecchio da lui inventato. Cosa non meno importante, lo spettroscopio permetteva di scartare le false rivendicazioni, rivelando se nelle sostanze sconosciute fossero presenti, sotto mentite spoglie, elementi già noti. La possibilità di una identificazione affidabile fu un passo importante verso la comprensione del comportamento della materia a livello profondo. Ma una volta scovati nuovi elementi, era necessario trovare un modo di ordinarli in qualche schema o albero genealogico. E qui veniamo a un altro merito di Bunsen: l'aver contribuito a creare una prestigiosa scuola di chimica a Heidelberg, dove sotto la sua guida si formarono molti pionieri della tavola periodica. Tra loro troviamo Dmitrij Mendeleev, colui che in genere è indicato come il suo inventore.

A dire il vero, proprio come per Bunsen e il suo becco, Mendeleev non produsse la prima tavola da solo. L'idea venne a sei scienziati, che in modo indipendente elaborarono il concetto di «affinità chimica» introdotto dalla precedente generazione di chimici. Mendeleev partì con un'idea approssimativa di come raggruppare gli elementi in piccoli insiemi e trasformò questo abbozzo di sistema periodico in una legge scientifica, proprio come Omero aveva trasformato un insieme incoerente di miti greci nell'*Odissea*. Anche la scienza ha

bisogno di eroi, e nel caso della tavola periodica Mendeleev, per varie ragioni, ebbe la parte del protagonista.

Per cominciare, la storia della sua vita è degna di un film. Nato in Siberia nel 1834, ultimo di quattordici figli, perse il padre a tredici anni. Fin dall'anno della sua nascita, la madre, Maria Mendeleeva, dovette accollarsi il peso della famiglia (il marito infatti, diventato cieco, percepiva una misera pensione). Con un atto di coraggio per la mentalità dell'epoca, riaprì la vecchia vetreria di famiglia e si mise a dirigerla, unica donna tra gli operai che prendevano ordini da lei. Alla fine la fabbrica fu distrutta da un incendio. La donna, riponendo le ultime speranze in Dmitrij, il figlio più sveglio, lo spinse in sella a un cavallo per quasi duemila chilometri, attraverso le steppe e gli Urali innevati, alla conquista di Mosca e dell'università migliore... che non accettò il ragazzo a causa delle sue origini siberiane. Senza perdersi d'animo, Maria Mendeleeva si rimise in sella assieme a suo figlio e cavalcò per altri cinquecento chilometri fino a San Pietroburgo, dove c'era l'università frequentata un tempo dal padre. Lì ebbe la soddisfazione di vedere il figlio immatricolarsi e poi morì.

Mendeleev si rivelò uno studente brillante. Terminati gli studi in Russia, completò la sua formazione a Parigi e a Heidelberg, sotto la guida del celebre Bunsen. (La collaborazione fu di breve durata e finì con una lite, in parte perché Mendeleev aveva un pessimo carattere, in parte perché il laboratorio locale, notoriamente rumoroso e pieno di fumi tossici, era un ambiente infernale in cui lavorare). Il russo tornò in patria e divenne professore a San Pietroburgo, dove iniziò le sue speculazioni sulla natura degli elementi che sarebbero culminate nel 1869 con la pubblicazione della celebre tavola periodica.

In quegli anni, molti ricercatori stavano studiando un modo per incasellare in uno schema gli elementi; qualcuno arrivò anche a soluzioni, seppur parziali, basate su principi simili a quelli di Mendeleev. Nel 1865 un giovane chimico inglese di nome John Newlands presentò pubblicamente un abbozzo di tavola. Fu un insuccesso, dovuto soprattutto alla sua troppa fantasia. All'epoca i gas nobili non si conoscevano ancora, e la prima fila della tavola conteneva solo sette elementi, che

Newlands, chissà perché, volle accostare alle sette note della scala musicale. Purtroppo per lui, i membri della Chemical Society londinese non apprezzavano le spiritosaggini: la sua teoria fu sbeffeggiata come «chimica da avanspettacolo».

Il rivale più serio di Mendeleev si chiamava Julius Lothar Meyer ed era un tedesco con una barba bianca arruffata e i capelli neri accuratamente impomatati. Anche lui era passato dal laboratorio di Bunsen a Heidelberg e aveva un curriculum scientifico di tutto rispetto: tra varie scoperte, gli si attribuisce quella del meccanismo con cui i globuli rossi trasportano l'ossigeno legandolo all'emoglobina. Meyer pubblicò la sua versione della tavola praticamente in contemporanea con Mendeleev; nel 1882 i due condivisero anche la medaglia Davy, il più prestigioso riconoscimento per un chimico prima dell'arrivo dei Nobel, per la scoperta congiunta della «legge periodica» (nonostante il premio fosse assegnato da un comitato inglese, Newlands non fu incluso tra gli scopritori e dovette aspettare il 1887 per ricevere la sua medaglia). Negli anni seguenti, Meyer continuò a far ricerche importanti che accrebbero la sua reputazione e avallò teorie innovative che di lì a poco si sarebbero rivelate corrette. Mendeleev invece divenne un eccentrico che incredibilmente si rifiutava di accettare l'esistenza degli atomi¹ e di altri oggetti o fenomeni invisibili, come gli elettroni o la radioattività. Attorno al 1880, un ipotetico concorso per il più grande chimico teorico al mondo avrebbe visto probabilmente la vittoria del tedesco. Perché allora il giudizio della storia ha premiato Mendeleev, cosa lo rendeva speciale rispetto a Meyer e agli altri quattro colleghi che prima di loro avevano pubblicato altre versioni della tavola periodica?²

In primo luogo, Mendeleev capì meglio di tutti che nelle reazioni chimiche alcune proprietà degli elementi persistono e altre no. Ad esempio, un composto come l'ossido mercurico (che è un solido rossastro) non «contiene» in nessun modo l'ossigeno (un gas) e un metallo liquido (il mercurio), come altri credevano: è semplicemente una sostanza che in opportune condizioni si separa producendo, appunto, ossigeno e mercurio. La proprietà che rimane costante nelle reazioni è il peso atomico, che Mendeleev con-

siderava il tratto più caratteristico degli elementi, con una visione molto simile a quella attuale.

In secondo luogo, mentre i colleghi giocherellavano con caselle, file e colonne, Mendeleev era un teorico che frequentava i laboratori, dotato di profondissime conoscenze sugli elementi: sapeva come erano fatti, che odore avevano e come reagivano; soprattutto conosceva bene i metalli, che erano i più insidiosi da classificare. Ciò gli permise di incasellare nella sua tavola tutti i sessantadue elementi allora noti. Mendeleev lavorò al perfezionamento del suo modello in modo ossessivo, arrivando persino a confezionarsi delle carte con gli elementi al posto dei semi, con cui giocava a una specie di solitario chimico. Ma soprattutto, a differenza del collega, aveva fegato. Sia lui che Meyer avevano lasciato dei buchi nella tavola là dove nessun elemento noto poteva stare, ma il russo fece un passo che il timido tedesco non osò neppure immaginare: predispose la scoperta di nuovi elementi in corrispondenza di quelle lacune. «Continue a cercare, signori chimici e geologi,» ripeteva con aria beffarda «e li troverete». Estrapolando le proprietà delle sostanze note colonna per colonna, fece persino previsioni sulle densità e sui pesi atomici di questi elementi ignoti, lasciando tutti a bocca aperta quando i suoi calcoli in varie occasioni si rivelarono esatti. Con la scoperta dei gas nobili, dopo il 1890, la tavola periodica passò anche un altro esame fondamentale, perché si vide che i nuovi elementi si potevano facilmente inserire nello schema di base aggiungendo una colonna. (All'inizio Mendeleev non voleva credere neppure alla loro esistenza, ma ormai la tavola gli era sfuggita di mano per diventare patrimonio comune dei chimici).

Non dobbiamo dimenticare anche la sua personalità esuberante. Come il suo contemporaneo russo Dostoevskij, che scrisse *Il giocatore* in tre settimane per pagare i suoi paurosi debiti di gioco, Mendeleev compilò la prima versione della tavola in fretta per completare un libro di testo. Aveva già scritto il primo volume, un tomo di cinquecento pagine in cui aveva esaminato solo otto elementi. L'editore gli chiese di infilare tutti gli altri in un solo volume; dopo sei settimane di tentennamenti, gli venne l'ispirazione di riunire tutte le informa-

zioni in una tabella. In preda all'eccitazione, rinunciò a un secondo lavoro (consulente per alcuni caseifici della zona) e si mise a completare il testo. Nel libro, Mendeleev non solo predisse l'esistenza di nuovi elementi che avrebbero occupato le caselle sotto il silicio e il boro, ma si inventò anche un nome provvisorio. Non deve aver nuociuto alla sua reputazione (alla gente piacciono i guru, in tempi di crisi) il fatto che avesse usato una lingua esotica e mistica come il sanscrito, battezzando le sostanze ignote come eka-silicio, eka-boro e così via (*eka* sta per «uno dopo il...»).

Qualche anno dopo, l'ormai famoso chimico russo divorziò per risposarsi. Secondo le usanze della Chiesa ortodossa avrebbe dovuto aspettare sette anni, ma corrompendo un prete riuscì comunque a celebrare le nozze. Teoricamente, per la legge dell'epoca era un bigamo, ma nessuno lo denunciò. Quando un funzionario si lamentò con lo zar per il fatto che in questa faccenda si erano usati due pesi e due misure (il prete fu scomunicato), il sovrano replicò in tono distaccato: «E vero, Mendeleev ha due mogli, ma io ho un solo Mendeleev». Ma non sempre il potere era disposto a chiudere un occhio. Nel 1890, il professore, che si proclamava anarchico, fu cacciato dall'università per aver appoggiato un gruppo di studenti rivoluzionari di sinistra.

È facile capire perché la biografia di Mendeleev piaccia tanto a storici e scienziati, anche se è chiaro che nessuno oggi si ricorderebbe di lui se non avesse scoperto la tavola periodica. A occhio, il suo apporto in questo campo è paragonabile a quello di Darwin per l'evoluzione e di Einstein per la relatività. Nessuno di questi uomini fece *tutto* il lavoro, ma ciascuno vi contribuì con una parte fondamentale, e in modo più elegante dei concorrenti. Questi signori capirono le conseguenze, anche remote, delle loro ricerche e trovarono prove sperimentali a sostegno delle loro affermazioni. Per tali ragioni Mendeleev, come Darwin, si attirò delle inimicizie durature. L'aver dato un nome a elementi che nessuno aveva mai visto era un gesto presuntuoso, che mandò su tutte le furie l'erede intellettuale di Bunsen, lo scopritore dell'«eka-alluminio». Spettava a lui battezzarlo, non a quel russo pazzoide.

La scoperta dell'eka-alluminio, oggi chiamato gallio, solleva una domanda di fondo: che cosa fa realmente progredire la scienza, le teorie che inquadrano la nostra visione del mondo, o gli esperimenti, il più semplice dei quali può demolire la più elegante delle teorie? Dopo essersi scontrato con il teorico Mendeleev, lo scopritore del gallio (uno sperimentale) poteva dare una risposta precisa. Paul-Émile-François Lecoq de Boisbaudran nacque nel 1838 da una famiglia di viticoltori della regione di Cognac. Era un bell'uomo, con i capelli ondulati e i baffi all'insù, celebre per l'eleganza delle sue cravatte. In età adulta, si trasferì a Parigi, dove imparò le tecniche spettroscopiche di Bunsen fino a diventarne il campione mondiale riconosciuto.

Lecoq era così sicuro di sé che, quando nel 1875 scoprì righe mai viste nello spettro di un minerale, senza pensarci un attimo di troppo dedusse correttamente che aveva scoperto un nuovo elemento. Lo battezzò gallio in onore della Gallia (anche se qualche dietrologo lo accusò di aver usato in realtà il suo cognome, visto che Lecoq in francese significa «il gallo», *gallus* appunto in latino). E visto che aveva voglia di toccare con mano il premio delle sue fatiche, si mise a purificarlo. Ci volle qualche anno, ma finalmente nel 1878 il chimico francese presentò al mondo un bel blocchetto di gallio puro. Questo metallo è solido a temperatura ambiente, ma è liquido già a 30 °C: basta tenerlo stretto nel palmo della mano per fonderlo e trasformarlo in una versione spessa e granulosa del mercurio. E uno dei pochi metalli che si possono maneggiare allo stato liquido senza bruciarsi le carni fino all'osso. Una conseguenza di questa proprietà è il suo utilizzo in innumerevoli scherzi da parte dei chimici, ben più raffinati delle banali prodezze con il becco Bunsen. In particolare il gallio, metallo malleabile e di colore argenteo simile all'alluminio, può essere modellato a forma di cucchiaino, in modo del tutto insospettabile. Un gioco popolare nelle feste consiste nel far svanire posate di gallio in tazze di tè bollente sotto gli occhi impietriti degli invitati.³

Lecoq de Boisbaudran, giustamente fiero di quel capriccioso metallo, pubblicò i suoi risultati su varie riviste scientifiche. Il gallio era il primo elemento scoperto dopo il 1869, anno di nascita della tavola periodica di Mendeleev. Quando

il chimico russo venne a conoscenza dei lavori di Lecoq de Boisbaudran, cercò di fare uno sgambetto al rivale e di prendersi il merito per la scoperta, visto che era conseguenza delle sue previsioni relative all'eka-alluminio. Il francese replicò seccamente che era stato lui a fare tutto il lavoro. Mendeleev non mollò la presa e i due iniziarono a beccarsi sulle riviste scientifiche, in una sorta di romanzo d'appendice a puntate in cui ciascun episodio veniva raccontato da un personaggio diverso. La discussione non tardò a diventare polemica. Stufi dell'arroganza di Mendeleev, Lecoq de Boisbaudran arrivò a contestare la paternità della tavola periodica, che secondo lui era opera di un oscuro connazionale, a cui il russo aveva rubato l'idea. Era un'accusa grave, un peccato scientifico secondo solo alla contraffazione dei dati sperimentali. (Mendeleev non era certo il tipo da condividere una scoperta; Meyer invece, nei suoi articoli pubblicati dopo il 1870, citò la «tavola di Mendeleev», ed è forse per questo che i posteri pensarono che i suoi lavori non avessero nulla di originale).

Come contromossa, Mendeleev passò al setaccio i dati sul gallio di Lecoq de Boisbaudran e informò il francese, senza fornire alcuna giustificazione, che doveva aver commesso qualche errore, perché densità e peso atomico del gallio si discostavano dalle sue predizioni. Ciò denota una incredibile sicurezza di sé, ma come scrive Eric Scerri, storico e filosofo della scienza, «Mendeleev era sempre pronto a piegare la natura perché rientrasse nel suo grandioso progetto teorico». Il chimico russo sembrava uno sbruffone, ma a differenza di tanti ciarlatani aveva ragione: Lecoq de Boisbaudran ben presto ritrattò i suoi risultati, rifece i calcoli e pubblicò nuovi articoli in cui i dati relativi al gallio corrispondevano a quelli previsti. Sempre secondo Scerri, «il mondo scientifico fu sbalordito nell'apprendere che Mendeleev, un teorico, aveva capito le proprietà di un nuovo elemento meglio del chimico sperimentale che l'aveva materialmente scoperto». Come mi disse un giorno un professore di lettere, una grande storia (e la costruzione della tavola periodica lo è di sicuro) è tale quando ha punti di svolta «sorprendenti ma al tempo stesso inevitabili». Penso proprio che, dopo aver scoperto la meravi-

gliosa struttura alla base della tavola periodica, Mendeleev provò un senso di stupore ma al tempo stesso di profonda convinzione di essere nel giusto, proprio a causa della sua elegante e inevitabile semplicità. Non stupisce il fatto che a volte si sentisse ebbro di potere.

Ma lasciamo perdere il bullismo scientifico e concentriamoci sull'essenza del dibattito: la dialettica tra teoria ed esperimento. È possibile che la conoscenza della teoria avesse sensibilizzato de Boisbaudran, aiutandolo a scoprire qualcosa di nuovo? O erano stati gli esperimenti a fornire le prove dell'esistenza di un nuovo elemento, e solo per un caso fortuito la teoria di Mendeleev concordava con quei risultati? Il chimico russo avrebbe potuto anche prevedere la presenza di fiumi di latte su Marte, prima che il francese provasse la giustezza della sua tavola grazie al gallio. D'altra parte, Lecoq de Boisbaudran fu costretto a ritrattare i suoi primi risultati e pubblicarne altri che confermavano le previsioni di Mendeleev. E benché il francese negasse di aver mai visto la tavola di Mendeleev, è possibile che avesse avuto notizia di altre versioni, o che le tavole avessero suscitato commenti nella comunità scientifica e spinto indirettamente gli scienziati ad aguzzare la vista per scoprire altri elementi. «È la teoria che decide ciò che possiamo osservare» ebbe a dire una volta Albert Einstein.

Alla fine della storia, è probabilmente impossibile capire quale delle due facce della medaglia, teoria o esperimento, abbia maggiormente contribuito al progresso della scienza. Ciò è confermato dal fatto che Mendeleev fece non poche previsioni errate. Per lui fu una fortuna che un bravo collega come Lecoq fosse stato il primo a scoprire l'eka-alluminio. Se qualcuno avesse preso di mira uno dei suoi errori (Mendeleev aveva previsto la presenza di molti elementi prima dell'idrogeno ed era convinto che la corona solare contenesse un solo elemento, il fantomatico *coronium*), forse il suo nome sarebbe tornato nell'oscurità. Ma per lo stesso motivo per cui oggi perdoniamo agli astronomi antichi di aver prodotto oroscopi falsi e contraddittori, perché nel farlo hanno scoperto molte cose interessanti sul cielo, così ci ricordiamo solo delle vittorie di Mendeleev. C'è poi da con-

siderare che nel semplificare la storia di quelle scoperte si tende a enfatizzare i meriti di Mendeleev o di pochi altri come Meyer e colleghi. Essi hanno certo compiuto un lavoro importante costruendo la struttura fondamentale, ma nel 1869 solo i due terzi degli elementi erano noti, e alcuni restarono per anni nelle colonne e nelle righe sbagliate, anche nelle migliori classificazioni.

Un enorme lavoro di sistemazione separa i nostri manuali di chimica dalla tavola di Mendeleev, soprattutto per quanto riguarda quel guazzabuglio di elementi che, nelle versioni moderne della tavola, vengono isolati nella parte bassa: i lantanidi, o «terre rare». Iniziano col lantanio, l'elemento numero 57, e la loro collocazione corretta sulla tavola ha sconcertato e tormentato i chimici fino a metà del XX secolo. Dato che i loro elettroni sono in genere sepolti negli strati più interni, i lantanidi hanno proprietà molto simili e se ne stanno ammassati in modo esasperante; riuscire a distinguerli è difficile come districare un groviglio di liane tropicali o di rampicanti. La spettroscopia poteva fare ben poco, perché anche se gli scienziati scoprivano sempre nuove righe spettrali, non avevano alcuna idea del numero di elementi ai quali corrispondevano. Lo stesso Mendeleev, che non era certo il tipo da tirarsi indietro, decise che i lantanidi erano troppo problematici per prestarsi a delle congetture. Nel 1869 si conoscevano ben pochi elementi al di là del cerio (il secondo lantanide, con numero 58), ma Mendeleev, anziché scrivere negli spazi vuoti i nomi di nuovi «eka-elementi», ammise la propria impotenza e, da quel punto in poi, lasciò la tavola piena di lacune. In seguito, inserendo dopo il cerio ulteriori lantanidi, gli capitò spesso di metterli al posto sbagliato, anche perché molti di quei «nuovi» elementi si rivelavano combinazioni di altri già conosciuti. Per il mondo di Mendeleev e dei suoi colleghi il cerio sembrava l'equivalente delle Colonne d'Ercole per gli antichi marinai, oltre le quali si rischiava di cadere in un gorgo, trascinati oltre i confini del mondo.

In verità Mendeleev avrebbe potuto evitare tutte queste frustrazioni spostandosi di alcune centinaia di chilometri a ovest di San Pietroburgo. Precisamente in Svezia, nel luogo

risparmiargli la vita: non era un vero alchimista, d'accordo, ma sapeva fabbricare la porcellana.

All'epoca si trattava di una sparata appena meno grossa. Da quando Marco Polo ne aveva portato dei campioni dalla Cina, alla fine del XIII secolo, le classi agiate in Europa impazzivano per quel materiale bianco, resistente alla scalfittura e al tempo stesso miracolosamente traslucido come un guscio d'uovo. La ricchezza di una corte si valutava sulla base dei suoi servizi di porcellana, che si favoleggiava avesse anche misteriose proprietà: si pensava ad esempio che bere da una tazza di quel materiale preservasse dagli effetti dei veleni. Si era diffusa la voce che i cinesi fossero favolosamente ricchi, tanto da aver eretto una torre di porcellana alta nove piani, per il puro gusto di farlo (il che si rivelò vero). Per secoli le famiglie più potenti, come i Medici a Firenze, avevano finanziato ricerche volte a carpire il segreto della fabbricazione, che però avevano prodotto solo imitazioni appena discrete.

La buona sorte arrise a Böttger, perché alla corte di Augusto c'era un vero esperto: Ehrenfried Walter von Tschirnhaus. Questo abile scienziato, il cui compito prima di allora era scandagliare il suolo del regno alla ricerca di pietre preziose, aveva appena inventato un forno capace di raggiungere temperature superiori ai 1500 °C. Grazie a questo apparato si poteva fondere la porcellana e analizzarla; il re ordinò a Böttger di mettersi a disposizione di Tschirnhaus e la ricerca poté iniziare sul serio. I due scoprirono che gli ingredienti erano caolino, una specie di creta bianca, e feldspato, un minerale che fonde ad alte temperature, e soprattutto che il segreto della fabbricazione stava nel cuocere e invetriare la porcellana in una sola mossa e non con due passaggi in forno separati; l'alta temperatura fonde i minerali e la creta e dà alla porcellana lucentezza e resistenza. Con qualche perfezionamento, la tecnica era pronta per essere mostrata, con un sospiro di sollievo, al re. Augusto li ringraziò a profusione, già sognando di diventare il più importante monarca europeo, almeno a livello mondano. Dopo un simile trionfo Böttger aveva tutte le ragioni per sperare nella liberazione, ma per sua sfortuna il re decise che il portatore di una conoscenza così preziosa non

poteva essere lasciato in giro per il mondo e lo sottopose a una carcerazione ancora più stretta.

Come era inevitabile, il segreto trapelò fuori dal palazzo e la ricetta di Böttger e Tschirnhaus arrivò in tutta Europa. Una volta capito il processo chimico di base, per i cinquantanni successivi gli artigiani apportarono migliorie varie alla lavorazione materiale. Ben presto si aprirono nuove miniere di feldspati, ovunque se ne riconoscesse la presenza. Nella gelida Scandinavia, in particolare, la porcellana era tenuta in gran conto per fabbricare stufe in grado di raggiungere temperature più alte e conservare il calore più a lungo rispetto a quelle di ghisa. Per alimentare un'industria in rapida espansione, nel 1780 fu aperta una cava su un'isola a una ventina di chilometri da Stoccolma.

Ytterby, che si pronuncia «itterbi» e significa «villaggio esterno», ha oggi l'aspetto che ci aspetteremmo da un paesino costiero in Scandinavia: case colorate dal tetto spiovente con grandi imposte bianche, intervallate da ampi giardini e pinete. Gli abitanti e i turisti si spostano in battello, e le strade prendono il nome da minerali ed elementi chimici.⁴

La miniera di Ytterby fu scavata nella sommità di una collina all'estremità sudoccidentale dell'isola. Per anni fornì materie prime di buona qualità per fabbricare porcellana e per altri scopi. Accadeva però un fatto curioso, che interessava in particolare agli scienziati: i minerali scavati in quel luogo, quando riscaldati, assumevano stravaganti colorazioni. Oggi sappiamo che questo è uno dei segni più chiari della presenza di lantanidi, che sull'isola abbondano per motivi dovuti alla sua storia geologica. Un tempo gli elementi erano distribuiti in modo abbastanza uniforme nella crosta terrestre, come se qualcuno li avesse versati tutti in una ciotola e mescolati prima di formare il nostro pianeta. Ma gli atomi dei metalli, e specialmente dei lantanidi, tendono a spostarsi in branco; dunque nei successivi processi di fusione e raffreddamento se ne formarono sacche compatte, alcune delle quali si ritrovarono sotto l'attuale Svezia. E poiché la Scandinavia è vicina a una linea di faglia, grazie alla tettonica a placche le rocce ricche di lantanidi emersero dalle profondità della Terra, aiutate anche

da quei fenomeni geotermici tanto amati da Bunsen. Nel corso dell'ultima glaciazione la superficie della Scandinavia fu erosa e livellata, e questo finale di partita fece sì che nell'area di Ytterby si trovassero minerali ricchi di lantanidi facilmente recuperabili.

In Svezia c'erano le condizioni economiche per impiantare una profittevole attività estrattiva, oltre alle caratteristiche geologiche che rendevano l'esplorazione scientificamente significativa; ma a lungo era mancato il giusto milieu sociale. Fino al Seicento la Scandinavia non si era molto evoluta oltre la mentalità vichinga, tanto che nelle sue università si insegnava a cacciare streghe e stregoni con uno zelo da far concorrenza all'Inquisizione. Ma nel Settecento, dopo l'unificazione della penisola sotto il regno di Svezia e con l'avvento dell'Illuminismo, la Scandinavia abbracciò con slancio il pensiero razionale. Molti grandi scienziati locali si fecero valere, in numero sproporzionato rispetto alla ridotta popolazione della regione. Tra questi ci interessa il chimico Johan Gadolin, nato nel 1760 in una famiglia di tradizione accademica (il padre aveva la cattedra congiunta di fisica e teologia e il nonno, in modo ancora più bizzarro, era sia professore di fisica sia vescovo).

Dopo aver girato in lungo e in largo l'Europa in gioventù (in Inghilterra strinse amicizia con Josiah Wedgwood, celebre fabbricante di porcellane, che gli fece visitare le cave di caolino), Gadolin si stabilì a Turku, nell'odierna Finlandia, dall'altra parte del Baltico rispetto a Stoccolma. Qui si guadagnò buona fama di geochimico. Studiosi e collezionisti dilettanti presero a spedirgli campioni di strani minerali trovati a Ytterby, per avere un suo autorevole parere, e fu così che attraverso i suoi lavori scientifici il mondo si accorse di questa piccola ma formidabile miniera.

Anche se gli mancavano gli strumenti (e le basi teoriche) per districare dalla matassa tutti i quattordici lantanidi, Gadolin fece comunque grandi progressi e riuscì a suddividerli in gruppi. La caccia agli elementi era diventata per lui un passatempo pari quasi a una vocazione. Quando più tardi, negli ultimi anni di vita di Mendeleev, altri chimici meglio

equipaggiati ripresero in mano il lavoro dello svedese, i nuovi elementi si svelarono l'uno dopo l'altro con grande facilità. Gadolin aveva battezzato «yttria» una delle sostanze misteriose da lui scoperte, e fu così che iniziò la moda di rendere immortale Ytterby attraverso la tavola periodica. Ben sette elementi hanno nomi in qualche modo collegati alla cava svedese, più di ogni altra persona, cosa o luogo. Per quattro di questi la derivazione è chiara, visto che si chiamano itterbio, terbio, erbio e ittrio. Per altri due, visto che le lettere erano finite e «rbio» suona male, si usarono meccanismi più sofisticati: l'olmio per ricordare Stoccolma (il simbolo è Ho, da Stock-Holm) e il tulio da Thule, nome antico e mitico delle terre scandinave. Infine, su insistenza di Lecoq de Boisbaudran, il gadolinio fu battezzato in onore di Gadolin.

Dei sette elementi scoperti a Ytterby, sei (tranne l'ittrio) sono lantanidi, caselle che Mendeleev aveva lasciato bianche. La storia avrebbe potuto essere ben diversa se il chimico russo, che continuava senza posa a rivedere la sua tavola e aveva i mezzi per capire da solo come riempire i buchi dopo il cerio, avesse attraversato il golfo di Finlandia e il mar Baltico, approdando alle Galapagos della chimica.

PARTE SECONDA
ATOMI CHE NASCONO, ATOMI CHE MUOIONO

L'ORIGINE DEGLI ATOMI: «SIAMO FATTI DELLA MATERIA DELLE STELLE»

²⁶ Fe 55.845	¹⁰ Ne 20.180	⁸² Pb 207.2	⁷⁷ Ir 192.217	⁷⁵ Re 186.207
-------------------------------	-------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Da dove vengono gli elementi? A questa domanda il sano buon senso che ha dominato la scienza per secoli soleva rispondere che non c'è un'origine precisa. Ci sono stati molti scontri filosofici intorno al problema di chi (o Chi) abbia creato l'universo, e perché, ma si era generalmente d'accordo nel ritenere che l'età di ciascun elemento coincidesse con quella dell'universo. Né creati né distrutti, gli elementi esistono e basta. Anche le teorie successive, come quella del big bang avanzata negli anni Trenta del secolo scorso, facevano propria questa tesi. Poiché la capocchia di spillo che quattordici miliardi di anni fa diede inizio alle danze conteneva l'intero universo, tutta la materia che oggi ci circonda deve essere stata espulsa da quel minuscolo puntino. Certo, non ancora sotto forma di collane di diamanti, barattoli di latta o fogli di alluminio, ma gli ingredienti c'erano già tutti. (Secondo i calcoli di un fisico, dieci minuti dopo il big bang tutta la materia conosciuta era già presente. «Un tempo minore di quello necessario per cuocere al forno un pollo arrosto con le patate», per usare le sue parole). Anche questo è conforme al senso comune: una continuità nella lunga storia astrale degli elementi.

Nel giro di qualche decennio la teoria cominciò a vacillare. Nel 1939, fisici tedeschi e americani¹ dimostrarono che il Sole

e le altre stelle traevano il loro calore dalla fusione termonucleare di due atomi di idrogeno in uno di elio, processo in cui viene liberata una quantità smisurata di energia in rapporto alle minuscole dimensioni degli atomi. Altri scienziati obiettarono: d'accordo, può darsi che le quantità relative di idrogeno e di elio cambino da un punto all'altro dell'universo, ma solo in misura limitata, e non c'è nessuna prova che cambino allo stesso modo le quantità relative degli altri elementi. Ma con l'avvento di telescopi sempre più potenti sorsero nuove perplessità. In teoria, il big bang avrebbe dovuto proiettare gli elementi uniformemente in ogni direzione; eppure le osservazioni mostravano che le stelle più giovani contenevano solo idrogeno ed elio, mentre in quelle più vecchie si trovavano molte più specie di atomi. Inoltre, in alcuni tipi di stelle «chimicamente speciali»² si scoprirono elementi estremamente instabili come il tecnezio, che non esiste in natura sul nostro pianeta. Doveva esserci per forza un meccanismo capace di forgiare in continuazione tutti questi elementi.

A metà degli anni Cinquanta, un quartetto di astronomi perspicaci capì che erano le stelle stesse a fungere da fucina di Vulcano. Geoffrey Burbidge, Margaret Burbidge, William Fowler e Fred Hoyle furono i principali (ma non certo i soli) campioni della teoria della «nucleosintesi stellare», grazie a un celebre articolo del 1957, che in gergo è noto con la sigla B²FH. Fatto piuttosto inusuale per una comunicazione scientifica, B²FH si apre con due pompose citazioni da Shakespeare, con opposte opinioni sul potere degli astri di influire sui destini dell'umanità.³ La tesi degli autori è che le stelle c'entrano molto con la nostra storia. In principio, l'universo era una sorta di brodo primordiale fatto soprattutto di idrogeno, con un pizzico di elio e litio. Con il passare del tempo, gli atomi di idrogeno si sono riuniti a formare le stelle, all'interno delle quali, grazie all'enorme pressione gravitazionale, è iniziato il processo di fusione che alimenta tutte le fiammelle del cielo. Per quanto importante dal punto di vista cosmologico, questo fenomeno è scientificamente tedioso: per miliardi di anni, le stelle non fanno altro che produrre montagne di elio. Solo quando il combustibile finisce, sostiene B²FH – ed è questa

la vera novità – la scena si anima. Astri che hanno ruminato bovinamente idrogeno per tempo immemore si trasformano in modi che nessun alchimista avrebbe mai immaginato.

Nel disperato tentativo di mantenere alta la temperatura, le stelle a corto di idrogeno iniziano a bruciare l'elio contenuto nei loro nuclei. A volte gli atomi di elio si aggregano semplicemente e formano elementi con numero atomico pari, altre volte protoni e neutroni si ricombinano in modo più complicato e formano elementi con numero atomico dispari. Ben presto si notano quantità apprezzabili di litio, boro, berillio e soprattutto carbonio (solo all'interno, perché i più freddi strati esterni rimangono sempre fatti di idrogeno). Sfortunatamente però, l'elio libera meno energia dell'idrogeno e le stelle lo esauriscono rapidamente, al massimo in poche centinaia di milioni di anni. A questo punto, le stelle più piccole «muoiono» e si trasformano in nane bianche, fatte soprattutto di carbonio. Le più pesanti (la cui massa è più di otto volte quella del Sole) non si arrendono e iniziano a trasformare il carbonio in sei altri elementi, fino al magnesio, guadagnando così qualche centinaio di anni. Finita anche questa fase alcune muoiono, ma le più grandi e roventi (al cui interno si raggiungono anche cinque miliardi di gradi) continuano a bruciare i nuovi elementi per qualche milione di anni. In B^2FH tutte queste reazioni sono descritte e giustificate; la ricetta per produrre elementi fino al ferro si ritrova in questa parabola evolutiva stellare. Come conseguenza di questa scoperta, oggi gli astronomi raggruppano senza problemi nella stessa categoria tutti i «metalli stellari» compresi tra il litio e il ferro; se si trovano tracce di quest'ultimo in una stella, si può star quasi certi che in essa siano presenti anche tutti gli elementi della tavola periodica che vengono prima.

Il buon senso ci porterebbe a concludere che nelle stelle di massa più grande gli atomi di ferro ben presto fonderanno, e così pure i prodotti della loro fusione, dando origine a catena a tutti gli altri elementi della tavola. Ma ancora una volta il buon senso fa cilecca. Se facciamo i calcoli e andiamo a esaminare quanta energia viene prodotta a ogni fusione, ci accorgiamo che non ha senso andare oltre l'elemento numero 26 (il ferro), perché in tal caso il processo *consuma* energia inve-

ce di produrne. Per una stella assetata di energia la fusione post-ferrica non è di nessun aiuto.⁴ Il ferro è la campana a morto della vita naturale di una stella.

Da dove vengono allora gli elementi più pesanti, dal numero 27 (cobalto) al numero 92 (uranio)? Secondo B²FH, paradossalmente, sono usciti belli e pronti da versioni in miniatura del big bang. Dopo aver scialacquato elementi come il magnesio o il silicio, le stelle davvero giganti (almeno dodici masse solari) si riducono a un misero nucleo di ferro in circa un giorno terrestre. Ma prima della morte, hanno un ultimo, apocalittico spasmo. Private all'improvviso dell'energia necessaria per mantenere integralmente il loro volume, implodono come un palloncino sgonfio sotto l'effetto del loro peso immane, precipitando su sé stesse a migliaia di chilometri al secondo. Nel nucleo, protoni ed elettroni collidono e formano neutroni, fino a quando non resta quasi più nulla oltre a queste particelle. Poi rimbalzano e si espandono con violenza verso l'esterno, esplodendo. Ed è una botta pazzesca! Fenomeni del genere, le supernove, splendono in cielo per un mese intero, estese per milioni di chilometri e brillanti come un miliardo di stelle. Nel corso di un simile evento, un fantastiliardo di particelle si scontrano tra loro ad altissima velocità per un numero enorme di volte, e in questo modo riescono a scavalcare la consueta barriera dell'efficienza energetica, fondendosi a creare ferro. Molti nuclei di ferro si trovano circondati da neutroni, alcuni dei quali decadono in protoni e creano quindi nuovi elementi. Ogni sostanza presente in natura e ogni suo isotopo sono stati partoriti da queste tempeste di particelle.

Solo nella nostra galassia, centinaia di milioni di supernove sono passate attraverso questo ciclo catastrofico di morte e reincarnazione. È una di queste esplosioni che ha determinato la nascita del nostro sistema solare. Circa 4,6 miliardi di anni fa, l'onda supersonica di una supernova passò attraverso una nuvola appiattita di pulviscolo cosmico dal diametro di una ventina di miliardi di chilometri – vestigia di almeno due stelle scomparse. Le polveri della nuvola si mischiarono alla spuma della supernova; ne risultò un pastone che si mise a girare su sé stesso formando vortici e depressioni, come la

superficie di un immenso stagno in cui si lanciano dei massi. Il nucleo più denso della nube aumentò di temperatura fino a dar vita al Sole (che dunque è figlio di un pasto cannibale a spese di stelle più antiche), e attorno iniziarono ad addensarsi i corpi planetari. I pianeti più notevoli, i giganti gassosi, si formarono quando il vento solare (un flusso di materiale espulso dalla nostra stella) iniziò a spingere gli elementi più leggeri verso i margini del sistema. Giove è il più ricco di gas: per vari motivi, questo pianeta è una Disneyland degli elementi, che lì possono assumere forme inimmaginabili sulla Terra.

Fin da tempi antichi, sono fiorite leggende prima sulla splendente Venere, poi sugli anelli di Saturno e infine sui canali di Marte. L'immaginazione umana si è potuta esercitare sui corpi celesti anche come fonte di nuovi nomi per nuovi elementi. Urano fu scoperto nel 1781, e l'atmosfera di esaltazione che circondò quest'impresa fu tale che poco dopo, nel 1789, l'uranio fu battezzato in suo onore, nonostante il pianeta praticamente non ne contenga. Il nettunio e il plutonio sono anch'essi figli di questa tradizione. Tra gli eventi degli ultimi tempi, Giove è stato protagonista del più straordinario. Nel 1994 la cometa Shoemaker-Levy si andò a schiantare contro il gigante, producendo la prima collisione di questo tipo osservata da occhi umani nel sistema solare. Le promesse di fuochi d'artificio non andarono deluse: ventun frammenti della cometa arrivarono sulla superficie, producendo vampe alte più di tremila chilometri. Questo evento spettacolare catturò l'immaginazione di un vasto pubblico, e gli esperti della NASA si trovarono ben presto davanti alle domande più strampalate nel corso di un collegamento via internet. Un tale chiese se nel nucleo di Giove si trovasse un diamante più grande della Terra. Un altro si domandò se la grande macchia rossa del pianeta avesse a che fare con «quella fisica a molte dimensioni di cui [aveva] sentito parlare», che prometteva viaggi nel tempo. Qualche anno dopo, il campo gravitazionale di Giove deviò la traiettoria della magnifica cometa Hale-Bopp verso la Terra; a San Diego trentanove adepti di una setta, tutti vestiti con palandrane nere e Nike bicolori ai piedi, si suicidarono in massa perché credevano che la deviazione fosse intenzionale,

opera di un'entità extraterrestre che li avrebbe trasportati a un più alto livello di esistenza.

Certo, ognuno ha diritto ad avere strane idee. (Nonostante il suo curriculum scientifico, Fred Hoyle, uno dei B²FH, non credeva nell'evoluzione o nel big bang, termine che utilizzò per ridicolizzare la teoria durante un'intervista radiofonica alla BBC). Ma la faccenda del diamante per lo meno ha un fondamento reale. Un piccolo gruppo di studiosi ha seriamente ipotizzato (e magari segretamente sperato) che Giove con la sua titanica massa sia in grado di produrre una gemma di enormi proporzioni. Ancora oggi c'è chi crede che si possano produrre diamanti liquidi o grandi come una berlina. E se vi interessano i materiali davvero esotici, sappiate che per alcuni astronomi le irregolarità del campo magnetico gioviano sono dovute alla presenza di oceani di «idrogeno metallico», nero e liquido. Questo materiale è stato osservato sulla Terra per qualche nanosecondo, in condizioni al limite del tecnologicamente fattibile. Eppure molti sono convinti che Giove sia riuscito a farsene una superscorta, pari a uno spessore di 43.000 chilometri.

Il motivo per cui gli elementi hanno abitudini così bizzarre sul più grande pianeta del sistema solare (e in misura minore su Saturno, il secondo in classifica) è presto detto: Giove è un impostore, perché in realtà è una stella mancata. Se nel corso della sua formazione fosse riuscito a risucchiare una quantità di detriti cosmici dieci volte maggiore, avrebbe potuto fare uno scatto di carriera fino a nana marrone, un tipo di stella con massa appena sufficiente per innescare qualche fusione nucleare e produrre una debole luce marroncina.⁵ Il nostro sistema solare sarebbe dunque stato binario, dotato di due stelle (vedremo che non è un'eventualità così strana). Invece Giove si raffreddò e scese sotto la soglia della fusione, mantenendo però massa, temperatura e pressione sufficienti a tenere gli atomi molto vicini tra loro, tanto appiccicati che smettono di comportarsi nei modi consueti qui sulla Terra. Dentro al grande pianeta c'è un limbo a metà tra le reazioni chimiche e quelle nucleari, dove sembrano plausibili diamanti colossali e oceani oleosi di idrogeno metallico liquido.

I fenomeni atmosferici sulla superficie di Giove sono ugualmente stravaganti. Ciò non deve sorprendere: dopo tutto è il pianeta della grande macchia rossa, un uragano grande tre volte la Terra che non dà segno di placarsi dopo secoli di violenta attività. La meteorologia degli strati più profondi è, se possibile, ancora più bizzarra. Poiché il vento solare ha portato fin lì solo gli elementi più comuni e leggeri, Giove dovrebbe avere la stessa composizione chimica basilare delle stelle: 90 per cento idrogeno, 10 per cento elio e tracce ben note di altri elementi, tra i quali il neon. Ma secondo i dati più recenti raccolti dalle sonde, dagli strati esterni dell'atmosfera mancherebbero un quarto dell'elio previsto e il 90 per cento del neon. Non a caso, questi due elementi sono più abbondanti negli strati interni; un qualche meccanismo deve aver agito da pompa di scambio, e ben presto ci si è resi conto che i dettagli si potevano ricavare da una carta del tempo gioviana.

In una vera stella, la forza di tutte le microesplosioni nucleari nel nucleo controbilancia la costante spinta centripeta della gravità. Su Giove, che manca di un reattore nucleare, nulla può contrastare il cammino dei più pesanti elio e neon, che partendo dagli strati esterni gassosi cadono all'interno. Più o meno a una profondità pari a un quarto del raggio del pianeta, questi gas incontrano lo strato di idrogeno metallico liquido e la fortissima pressione atmosferica in quella zona riesce a liquefarli e a farli precipitare ancora più in fretta.

Tutti abbiamo visto l'elio e il neon bruciare emettendo brillanti luci colorate, nei cosiddetti tubi al neon. L'attrito generato dalla caduta verso il centro di Giove eccita questi elementi allo stesso modo, caricandoli di energia come meteore. Se si formassero gocce abbastanza grosse e veloci di questi gas liquefatti e se esistesse un osservatore capace di navigare sugli oceani di idrogeno metallico dentro il pianeta, potrebbe forse vedere stagliarsi in un cielo color crema e arancio il più spettacolare evento atmosferico immaginabile: la cosiddetta pioggia di neon, in cui migliaia di miliardi di fuochi d'artificio scarlatti illuminano la notte gioviana.

La storia dei quattro pianeti rocciosi (Mercurio, Venere, Terra e Marte) è diversa ed è meno clamorosamente spettacolare. Quando la materia del sistema solare iniziò a raggrumarsi, formò per prima i giganti gassosi, in pochi milioni di anni; nel frattempo gli elementi pesanti si radunarono a formare una cintura all'incirca centrata sull'orbita terrestre e rimasero in quiete per lungo tempo. Quando il nostro pianeta e i suoi vicini riuscirono a trasformarsi in palle di materiale incandescente, inglobarono gli elementi in questione in modo abbastanza uniforme. Sarebbe bastato allora afferrare una manciata di terra per tenere (come fantasticava William Blake) l'intero universo, cioè l'intera tavola periodica, «nel cavo della mano». Ma gli elementi vennero rimescolati da varie forze, gli atomi della stessa specie (o di specie vicine) iniziarono a fare comunella, e dopo miliardi di anni i pianeti si trovarono ad avere qua e là giacimenti interessanti di vari minerali. Il ferro, più denso, è affondato nei nuclei e lì è rimasto. (Mercurio, che non vuole farsi rubare la scena da Giove, presenta al suo interno in certe condizioni «fiocchi di neve» ferrosi a forma di cubetti microscopici, assai diversi dunque dai familiari esagoni di ghiaccio terrestri).⁶ La Terra avrebbe potuto diventare un patchwork di grandi masse di alluminio, uranio o altri elementi, se non fosse accaduto un fatto fondamentale: il pianeta si raffreddò e solidificò abbastanza da ostacolare il rimescolamento. Per questo motivo oggi abbiamo giacimenti di vari minerali a sufficiente distanza l'uno dall'altro tanto che, salvo alcune ben note eccezioni, nessuna parte del mondo ne ha il monopolio.

Se confrontati ai pianeti che orbitano attorno ad altre stelle, i quattro pianeti rocciosi del sistema solare presentano composizioni diverse. Gran parte dei sistemi planetari si sono formati a partire da supernove; la presenza dei vari elementi in tale situazione dipende dall'energia di partenza della supernova e dal tipo di detriti cosmici investiti dall'esplosione. Di conseguenza, ogni sistema ha una sua precisa carta d'identità chimica. Saprete probabilmente che sotto ogni simbolo della tavola periodica è indicato un numero, il peso atomico, cioè la somma del numero di protoni e neutroni. Quello del carbonio è 12,011, ma perché si tratta

di un valore medio. Gran parte del carbonio in natura vale esattamente 12 unità, e la parte decimale serve a tenere conto dei più rari isotopi che valgono 13 o 14. In un'altra galassia, però, questo valore medio potrebbe essere leggermente maggiore o minore. Inoltre, le supernove producono molti elementi radioattivi, che decadono subito dopo l'esplosione. È assai improbabile che due sistemi stellari si trovino ad avere la stessa proporzione di elementi radioattivi e stabili, a meno che non siano nati nello stesso momento.

Data la variabilità dei sistemi, e tenuto conto del fatto che sono nati in epoche incommensurabilmente lontane, una persona di buon senso potrebbe sentirsi autorizzata a chiedere agli specialisti come accidenti abbiano capito come si è formata la Terra. In soldoni, gli scienziati hanno analizzato le quantità relative e la distribuzione degli elementi più rari e più comuni e hanno calcolato in che modo si è arrivati all'attuale configurazione. Grazie a piombo e uranio, per esempio, e grazie a una serie di esperimenti di straordinaria precisione eseguiti negli anni Cinquanta da un giovane ricercatore a Chicago, oggi conosciamo la data di nascita del pianeta.

Gli elementi più pesanti sono radioattivi e quasi tutti (tra cui appunto l'uranio) decadono trasformandosi in piombo. Clair Patterson, che si era fatto le ossa con il Progetto Manhattan, conosceva bene questo processo e sapeva altrettanto bene che il piombo si presenta sul nostro pianeta in tre tipi, o isotopi, con pesi atomici diversi: 204, 206 e 207. Parte del piombo che oggi troviamo risale alla nascita della Terra via supernova, ma una parte è invece il frutto fresco del decadimento dell'uranio. Quest'ultimo evento si verifica solo con i due isotopi 206 e 207, mentre la quantità di 204 è fissa, perché nessun atomo vi si trasmuta. L'idea geniale di Patterson fu osservare che l'abbondanza relativa di 206 e 207 rispetto all'elemento 204 doveva esser cresciuta nel tempo con un ritmo calcolabile, perché l'uranio continua a formare sempre più isotopi del primo tipo. Se Patterson fosse riuscito a scoprire di quanto tale rapporto era cresciuto rispetto alle origini della Terra, sarebbe stato in grado di procedere a ritroso con le sue estrapolazioni fino all'anno zero.

A rovinare la festa fu un piccolo particolare: nessuno, ovviamente, era lì a misurare le abbondanze relative degli isotopi all'alba dei tempi, quindi Patterson non sapeva quando fermarsi con le sue estrapolazioni nel passato. Ma trovò il modo per superare questa difficoltà. Non tutta la polvere stellare che girava attorno alla Terra si aggregò a formare pianeti, ovviamente, perché nacquero anche meteoriti, asteroidi e comete. Poiché sono fatti della stessa polvere di stelle e vagano nello spazio gelido da allora, questi oggetti sono in realtà pezzi di Terra primordiale conservati criogenicamente. Inoltre, visto che il ferro sta al vertice della nucleosintesi stellare, è presente nell'universo in modo sproporzionato. Molte meteoriti sono praticamente ferro puro. C'è poi una buona notizia: ferro e uranio non si mischiano, mentre ferro e piombo sì; dunque le meteoriti contengono piombo con la stessa abbondanza relativa della Terra primordiale, perché in tutto questo tempo non è intervenuto l'uranio ad aggiungerne dell'altro. Con il cuore pieno di speranza, Patterson mise le mani su qualche campione meteorico raccolto a Canyon Diablo in Arizona e si mise al lavoro.

Ma fu subito messo in crisi da un problema serio e onnipresente: l'industrializzazione. Gli esseri umani usano il malleabile piombo fin dai tempi antichi in molte occasioni, ad esempio per rivestire i tubi delle condotte d'acqua pubblica. (Notiamo al proposito che dal latino *plumbum* deriva l'inglese *plumber*, cioè «idraulico»). Dopo l'avvento delle vernici e della benzina al piombo, rispettivamente a fine Ottocento e inizio Novecento, la presenza di questo elemento nell'ambiente è aumentata al ritmo in cui oggi si innalza il livello di anidride carbonica. Questa sovrabbondanza fece andare a vuoto i primi tentativi di Patterson di analizzare le meteoriti; dovette allora ricorrere a misure drastiche, come far bollire gli strumenti in acido solforico concentrato, per evitare che il piombo di provenienza umana contaminasse le sue rocce tanto pure. Come rivelò anni dopo durante un'intervista, «in un laboratorio super-controllato come il mio, basta il piombo contenuto nei suoi capelli per contaminarlo e mandare al diavolo tutto l'esperimento».

La precisione scrupolosa si tramutò presto in ossessione. Patterson arrivò a vedere in Pig-Pen, il personaggio dei peanuts perennemente avvolto in una nuvola di sporcizia, una metafora dell'essere umano contaminato dal piombo presente nell'ambiente. Ma questa fissazione lo portò a raggiungere due importanti traguardi. In primo luogo, dopo aver ripulito il laboratorio a sufficienza, calcolò la stima dell'età della Terra che ancora oggi è considerata più attendibile, vale a dire 4,55 miliardi di anni. Secondariamente, la sua paura della contaminazione lo spinse a combattere varie battaglie: dobbiamo ringraziare soprattutto lui se i bambini del futuro non ingeriranno più frammenti di vernici tossiche o se la benzina con il piombo sparirà dalla scena. Grazie alla sua crociata, oggi nessuno contesta il fatto che le vernici e le emissioni delle macchine non debbano contenere questo elemento tossico, che potremmo inalare o assumere attraverso i capelli.

Dato atto a Patterson di aver risolto il problema della datazione, dobbiamo osservare che ci sono altre questioni aperte. Venere, Mercurio e Marte si sono formati nello stesso periodo, ma al di là di qualche somiglianza superficiale sono molto diversi dalla Terra. Per ricostruire in dettaglio il puzzle delle nostre origini, fu necessario esplorare certi recessi oscuri della tavola periodica.

Nel 1977 Luis e Walter Álvarez, padre e figlio, uno fisico e l'altro geologo, stavano studiando certi sedimenti calcarei in Italia, risalenti al periodo dell'estinzione dei dinosauri. Gli strati sembravano uniformi, tranne che per una sottile e misteriosa patina di argilla rossa che si era depositata proprio sessantacinque milioni di anni fa. Fatto ancor più strano, questa argilla conteneva una quantità di iridio seicento volte maggiore rispetto alla media. L'iridio è un elemento «siderofilo», cioè amante del ferro,⁷ e come conseguenza si trova in gran parte confinato nel nucleo fluido della Terra. La fonte più comune di questo elemento è data dai frammenti di meteoriti ricchi di ferro che colpiscono la superficie del pianeta. Ciò mise la pulce nell'orecchio agli Álvarez.

I crateri lunari sono le cicatrici di antichi bombardamenti, e non c'è ragione per pensare che la Terra in passato sia sfuggita a simili piogge di fuoco. Se un bolide grande come una metropoli ci avesse colpito sessantacinque milioni di anni fa, avrebbe proiettato una coltre di polvere ricca di iridio su tutto il pianeta. Questa nuvola avrebbe bloccato la luce solare e fatto morire la vegetazione: era una buona spiegazione del perché non solo erano scomparsi i dinosauri ma anche il 75 per cento delle specie e il 99 per cento della biomassa. Ci volle un bel po' per convincere certi colleghi, ma alla fine gli Alvarez dimostrarono che lo strato di iridio si presentava in tutto il mondo e che l'ipotesi alternativa, cioè l'esplosione di una supernova a poca distanza, non era plausibile. Quando un gruppo di geologi (che faceva ricerche per conto di una compagnia petrolifera) scoprì nella penisola dello Yucatan un cratere largo centosessanta chilometri e profondo trenta, risalente a sessantacinque milioni di anni fa, la teoria dell'impatto di un asteroide sembrò essere provata in via definitiva.

C'era ancora però un piccolo dubbio, una macchiolina che irritava la coscienza scientifica. La nuvola di polvere aveva forse oscurato il Sole e causato piogge acide, e l'impatto aveva creato tsunami alti mille metri, ma da questi eventi la Terra si sarebbe ripresa nel giro di pochi decenni, al massimo. Perché allora, secondo le testimonianze fossili, l'estinzione dei dinosauri avvenne nel corso di centinaia di migliaia di anni? Molti specialisti oggi pensano che la strage fu agevolata dalle eruzioni in contemporanea, casualmente subito prima e subito dopo l'impatto del meteorite, di molti grandi vulcani in India. Nel 1984, un gruppo di paleontologi avanzò l'ipotesi che la sparizione dei dinosauri fosse parte di un ciclo più ampio, visto che sembrano essere avvenute estinzioni di massa ogni ventisei milioni di anni circa. È stata solo una coincidenza che quell'asteroide sia caduto proprio quando stava suonando l'ora dei grandi sauri?

I geologi scoprirono poi altri strati sottili di argilla ricca di iridio che sembravano essersi depositati in corrispondenza di altre grandi estinzioni. Sulla scia degli Alvarez, alcuni giunsero alla conclusione che fossero tutte dovute all'im-

patto con asteroidi o comete. Luis, il padre, aveva parecchi dubbi su questa teoria, soprattutto perché nessuno sapeva spiegarne il lato più radicale e improbabile, cioè la periodicità degli impatti. Mutò opinione a causa di un altro elemento senza infamia e senza lode: il renio.

Richard Muller, in *Nemesis*, così ricorda la scena clou. Un giorno imprecisato degli anni Ottanta, Àlvarez entrò trafelato nell'ufficio del collega sventolandogli sotto il naso un «ridicolo» articolo pieno di speculazioni sulle estinzioni periodiche che stava esaminando per conto di una rivista. Aveva già la schiuma alla bocca, ma Muller decise di gettare benzina sul fuoco. I due si misero a litigare come una vecchia coppia, con tanto di broncio. L'oggetto del contendere, nelle parole di Muller, era in sostanza questo: «Nell'immensità dello spazio, la Terra è un bersaglio molto piccolo. Un asteroide che passa vicino al Sole ha una probabilità poco superiore a una su un miliardo di colpire il nostro pianeta. Dunque gli impatti dovrebbero essere distribuiti casualmente, non ripetersi secondo un ciclo regolare. Cosa potrebbe mai renderli periodici?».

Muller sposava l'idea che il bombardamento regolare fosse possibile, anche se non aveva idea di cosa potesse causarlo. Alla fine della discussione, Alvarez, stufo di congetture, sfidò il collega chiedendogli di fare un'ipotesi concreta. Muller, con un'illuminazione geniale causata dall'adrenalina (disse poi), lo guardò in faccia e gridò che forse il Sole aveva una stella compagna misteriosa, attorno alla quale la Terra ruotava troppo lentamente perché ce ne accorgessimo, e la cui forza di gravità spingeva gli asteroidi verso la Terra quando le passavamo vicino. Niente male, eh?

Forse Muller aveva buttato lì l'idea della stella compagna, battezzata Nemesis come la dea greca della giustizia divina,⁸ senza troppa convinzione, ma Àlvarez la prese sul serio, perché riusciva a spiegare la faccenda del renio. Abbiamo già visto che tutti i sistemi stellari hanno una loro carta d'identità, che li rende unici, basata sull'abbondanza relativa dei vari isotopi. Negli strati di argilla ricchi di iridio si erano trovate tracce di renio; dopo aver calcolato il rapporto tra i due isotopi di questo elemento (uno radioattivo e l'altro no), Àlvarez concluse che gli eventuali mes-

saggeri di sventura erano tutti arrivati dal sistema solare, visto che il valore coincideva con quello terrestre. Se davvero Nemesis si fosse avvicinata ogni ventisei milioni di anni per tirarci massi con una fionda spaziale, anche questi proiettili avrebbero presentato la stessa proporzione di isotopi del renio. Soprattutto, la teoria era compatibile con la lenta estinzione dei dinosauri. Il cratere messicano forse non era che uno, il più grande, di tanti, testimonianza di un bombardamento durato migliaia di anni. Forse i tremendi lucertoloni non furono vinti da un colpo fatale, ma dalla somma di moltissime ferite minori.

Quel giorno nell'ufficio di Muller, l'arrabbiatura di Alvarez (noto per la mutevolezza di umore) svanì non appena egli si rese conto che il bombardamento periodico di asteroidi era un'ipotesi plausibile. Quando il collega fu uscito, però, Muller non riuscì a staccarsi da quell'intuizione così improbabile, e più ci pensava più se ne convinceva. Nemesis non era impossibile. Iniziò a parlarne con altri astronomi e a pubblicare articoli. Raccolse prove, prese fiducia e scrisse un libro intero. Per un breve, meraviglioso periodo, a metà degli anni Ottanta, sembrava che il fallimento di Giove nel tentativo di diventare una stella non fosse più importante, perché il Sole aveva comunque una compagna.

Sfortunatamente, le prove indirette dell'esistenza di Nemesis furono sempre deboli e presto l'ipotesi vacillò. Se la prima versione della teoria, quella del singolo impatto, aveva attirato critiche serrate, questa sembrava il bersaglio di un incessante fuoco di fila. Era poco probabile che gli astronomi non si fossero accorti di un simile corpo celeste, seppur distantissimo al perigeo, in migliaia di anni di osservazioni. Dopo tutto la stella più vicina, Alfa Centauri, dista quattro anni luce, mentre Nemesis dovrebbe trovarsi al massimo a mezzo anno luce. Ci sono ancora oggi ricercatori testardi e romantici che passano al setaccio la regione di spazio in cui dovrebbe stare, ma con il trascorrere del tempo la sua esistenza diventa sempre più improbabile.

Non dobbiamo sottostimare, però, il potere della speculazione. Abbiamo tre dati: le estinzioni sembrano avvenire con periodicità, gli strati ricchi di iridio sembrano compro-

vare gli impatti dei bolidi celesti, e la distribuzione del renio sembra implicare che i proiettili arrivino dal nostro sistema solare. Nemesis non era forse la soluzione, ma gli scienziati erano ugualmente stuzzicati dal rebus. Si misero a caccia di altri cicli potenzialmente capaci di portare morte e distruzione, e ben presto trovarono un buon candidato tra i moti del Sole.

Molti credono che la rivoluzione copernicana abbia fissato il nostro astro in un punto preciso dello spazio-tempo. In realtà, il Sole è trascinato dai flussi simili a maree della nostra galassia a spirale e mentre si muove ondeggia come un cavalluccio delle giostre.⁹ C'è chi pensa che in questo vagabondare si avvicini, abbastanza da far sentire la sua forza di gravità, a una colossale nuvola di detriti spaziali e nuclei di comete detta nube di Oort. Tutti i suoi elementi provengono dalla stessa supernova che ci ha fatto nascere, e ogni volta che il Sole le si avvicina troppo, a intervalli di circa venti milioni di anni, magari le strappa qualche piccolo corpo maligno e lo lancia con un grido di trionfo in direzione della Terra. La maggior parte di questi proiettili sarebbero deviati dal campo gravitazionale solare (o di Giove, che ad esempio si è preso la cometa Shoemaker-Levy al posto nostro), ma un numero sufficiente potrebbe arrivare dalle nostre parti e bombardarci. È una teoria tutt'altro che dimostrata, ma se mai si rivelasse vera, noi staremmo facendo un interminabile giro della morte sull'ottovolante cosmico. Dovremmo ringraziare l'iridio e il renio per averci messo in guardia, così magari prendiamo qualche provvedimento, visto che prima o poi ci ritoccherà.

In un certo senso la tavola periodica è irrilevante nello studio della storia astrale degli elementi. Le stelle sono fatte praticamente solo di idrogeno ed elio, e lo stesso vale per i pianeti giganti. Ma nonostante la sua indiscutibile importanza cosmologica, la fusione idrogeno-elio non è quel che si dice una storia da prima pagina. Per arrivare ai dettagli più succosi, come le supernove o il carbonio, abbiamo bisogno della tavola periodica. Scrive il già citato Eric Scerri: «Gli elementi diversi da idrogeno ed elio sono solo lo 0,04 per cento dell'universo. Da questo punto di vista, il sistema periodico sembra piuttosto insignificante. Ma rimane il fat-

to che abitiamo sulla Terra... un luogo dove la distribuzione degli elementi è molto diversa».

Tutto vero, come ribadì il compianto Carl Sagan in forma più poetica. Senza i reattori nucleari scoperti da B^2FH , dove si formano carbonio, ossigeno e azoto, e senza le supernove che disseminano abbondanza, rendendo luoghi come la Terra ospitali, la vita non sarebbe mai apparsa. Diceva Sagan, con affetto, che «siamo fatti della materia delle stelle».

Purtroppo però la materia stellare non si è distribuita sul pianeta in modo equo. Nonostante le supernove espellano elementi in tutte le direzioni, e nonostante la Terra ancora semisolida abbia fatto di tutto per rimescolare le carte, alcuni luoghi si sono ritrovati con alte concentrazioni di minerali rari. A volte, come a Ytterby, ciò è servito di ispirazione al genio della scienza. Troppo spesso, però, ciò ha significato avidità e brama di possesso, soprattutto quando certi oscuri elementi si rivelano preziosi per fini commerciali o bellici, o peggio ancora per tutti e due.

«À LA GUERRE COMME À LA GUERRE»

35 Br 79.904	76 Os 190.233	17 Cl 35.453	42 Mo 95.942	74 W 183.841	21 Sc 44.956	73 Ta 180.948	41 Nb 92.906
--------------------	---------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	---------------------	--------------------

Come molte altre caratteristiche delle società moderne (tra cui ad esempio la democrazia, la filosofia e il teatro), anche la guerra chimica ha le sue origini nell'antica Grecia. Durante l'assedio di Atene, nel V secolo a.C, gli Spartani si ingegnarono a far capitolare gli ostinati rivali con la tecnologia chimica più avanzata dell'epoca: il fumo. Alcuni soldati avanzarono di soppiatto fin sotto le mura portando fascine di legna immerse nella pece e in un fetido composto solforoso; appiccarono il fuoco e poi attesero che gli Ateniesi fuggissero in preda a una tosse tormentosa, lasciando loro campo libero. Una tattica apparentemente brillante e innovativa quanto quella del cavallo di Troia, ma non funzionò. Il fumo avvolse sì Atene, ma la città non si piegò di fronte a quella bomba puzzolente e alla fine vinse la guerra.¹

Fu come un presagio. Per i successivi ventiquattro secoli, la tecnologia delle armi chimiche fece ben pochi progressi e rimase meno efficace dei metodi tradizionali, come il classico pentolone d'olio bollente versato sugli assediati. Fino alla prima guerra mondiale, i gas non erano usati a scopi strategici, anche se c'era consapevolezza del loro potenziale distruttivo. Tutte le nazioni tecnologicamente avanzate, tranne una, nel 1899 ratificarono la Convenzione dell'Aia, che proibiva l'uso delle armi chimiche in guerra. L'eccezio-

ne era data proprio dagli Stati Uniti, che in tutta onestà avevano qualche ragione a rifiutarsi di firmare un trattato che ipocritamente bandiva sostanze di poco più tossiche dello spray al peperoncino, mentre non ci si faceva scrupolo di falciare coscritti diciottenni con le mitragliatrici o silurare navi piene di marinai, che affogavano nei flutti tenebrosi. Le altre nazioni stigmatizzarono il cinismo americano, sottoscrissero con gran pompa la Convenzione e di lì a poco si rimangiarono la parola data.

Le prime, segretissime ricerche sulle armi chimiche si concentrarono sul bromo, uno degli elementi più aggressivi. Come altri alogeni, ha sette elettroni nel livello energetico esterno ed è alla ossessiva ricerca dell'ottavo. Fermamente convinto che il fine giustifichi i mezzi, distrugge elementi più deboli, come il carbonio contenuto nelle cellule, per fare il pieno di elettroni. In questo modo risulta particolarmente irritante per occhi e naso. Nei primi anni del Novecento i chimici impegnati in ambito bellico crearono i primi gas lacrimogeni a base di bromo, così potenti da far sciogliere in un pianto inarrestabile e mettere fuori combattimento anche un uomo adulto.

Visto che nessuna norma proibiva di sperimentare queste sostanze sui connazionali (la Convenzione dell'Aia si applicava solo alle guerre), nel 1912 il governo francese usò per la prima volta il bromoacetato di etile per catturare una banda di rapinatori di banche a Parigi. La notizia fece presto il giro d'Europa, e le nazioni confinanti ne furono intimorite. A ragione: quando due anni dopo scoppiò la guerra, i francesi si misero subito a bombardare le truppe tedesche in avanzata con bossoli pieni di gas lacrimogeno. Ma fecero addirittura peggio degli Spartani duemila anni prima, perché i proiettili atterrarono in una zona pianeggiante, dove il vento disperse i gas prima ancora che i soldati nemici si rendessero conto di esser stati attaccati. Per esser più precisi, il bombardamento non ebbe effetti immediati ma fu devastante nel medio periodo, perché la notizia fu ripresa dai giornali su entrambi i fronti, scatenando reazioni isteriche. I tedeschi a loro volta soffiaronero sul fuoco: uno sfortunato caso di avvelenamento da monossido di carbonio in una caserma fu imputato a una misteriosa sostanza asfis-

siente lanciata dai francesi e preso a pretesto per giustificare l'inizio della guerra chimica.

La Germania si trovò presto all'avanguardia in questo campo, grazie a un signore calvo e baffuto con tanto di occhiali pince-nez: Fritz Haber, uno dei più brillanti chimici della storia. All'inizio del Novecento questi assurse a fama planetaria grazie alla scoperta di un procedimento per convertire il più comune degli elementi, l'azoto atmosferico, in un prodotto di grande valenza commerciale. L'azoto, che pure in certi casi è in grado di uccidere per soffocamento ignare vittime, di solito è un gas inerte, al punto di essere praticamente inutile. In condizioni opportune, però, ha la fondamentale funzione di fertilizzare il suolo, ed è indispensabile ai vegetali quanto la vitamina C lo è per noi (le piante carnivore come la drosera o la dionea catturano gli insetti proprio per assicurarsi una fonte di azoto). Ma questo elemento così comune, che costituisce l'80 per cento dell'atmosfera, cioè i quattro quinti delle molecole che inaliamo, è un vero inetto quando si tratta di «fissarsi» al suolo e arricchirlo, proprio perché raramente reagisce con altre sostanze. La difficoltà di farlo entrare in reazioni così importanti, unita all'abbondante disponibilità, rese l'azoto il bersaglio preferito di generazioni di chimici ambiziosi.

Il procedimento inventato da Haber per catturare l'azoto prevede varie tappe, in cui appaiono e scompaiono tante sostanze intermedie. In soldoni si tratta di questo: si porta il gas ad alte temperature, lo si mette a contatto con l'idrogeno, si aumenta la pressione a centinaia di atmosfere, si aggiunge l'osmio, che è un fondamentale catalizzatore, ed ecco fatto, l'aria si è trasformata in ammoniaca, NH_3 , madre di tutti i fertilizzanti. Con queste nuove sostanze di sintesi disponibili a buon mercato, i contadini avevano un'alternativa al letame e ai composti organici. Già allo scoppio della prima guerra mondiale, si poteva stimare che il procedimento di Haber aveva salvato milioni di esseri umani dalla morte per fame – e anche oggi dobbiamo ringraziare lui per essere arrivati alla soglia dei sette miliardi di abitanti sulla Terra.²

In questa storia manca però un particolare: nonostante

le sue dichiarazioni di facciata, a Haber dei fertilizzanti importava ben poco. Il suo scopo era ricavare ammoniaca a buon mercato per aiutare l'industria bellica tedesca a produrre esplosivi (sì, dai fertilizzanti si possono ricavare bombe, come ha fatto Timothy McVeigh nel 1995 per far saltare in aria un edificio governativo a Oklahoma City). Figure come quella di Haber, piccoli Faust che piegano l'innovazione scientifica all'efficienza distruttiva, sono una triste costante della storia, e la sua grande competenza rende questo caso particolarmente sgradevole. A guerra iniziata, i comandi militari tedeschi gli chiesero di lavorare al reparto armi chimiche, nella speranza di rompere lo stallo della guerra di trincea che stava dissanguando le finanze statali. Haber, che pure si stava arricchendo grazie a lucrosi contratti pubblici relativi ai suoi brevetti, non se lo fece ripetere due volte e si lanciò nell'impresa. La guerra chimica divenne cosa sua. Il quarantaseienne ebreo convertito al protestantesimo per ragioni di carriera fu nominato capitano dell'esercito, fatto che gli diede un puerile orgoglio.

La sua famiglia ne fu meno felice. L'atteggiamento nazionalistico di Haber distrusse le sue relazioni umane, in particolare con la sola persona che avrebbe potuto salvarlo: sua moglie Clara Immerwahr. Anche lei aveva l'aureola del genio, essendo stata la prima donna ad aver ricevuto un dottorato dalla prestigiosa Università di Breslau (oggi Breslavia, in Polonia). Ma al contrario della sua quasi coetanea Marie Curie, sposata a un uomo di mentalità aperta, Clara sparì dalla scena pubblica a causa del suo matrimonio. A prima vista Haber non era una cattiva scelta per una donna che avesse delle ambizioni scientifiche, ma nonostante il suo talento chimico questi era un essere umano imperfetto. Sostengono i biografi che Clara Immerwahr «non smise mai il grembiule della casalinga». Si lamentava con un'amica del fatto che «Fritz in casa pensasse sempre e soprattutto a sé, al punto che una personalità meno dominante ne era semplicemente schiacciata». Aiutò il marito traducendo i suoi articoli in inglese e facendogli da assistente nel suo lavoro sull'azoto, ma si rifiutò di collaborare alle ricerche relative ai gas tossici a base di bromo.

Haber non fece una piega. Nel frattempo decine di altri

giovani scienziati si erano offerti volontari, e la Germania, che all'inizio della guerra sembrava dietro all'odiata Francia nel campo delle armi chimiche, già nei primi mesi del 1915 produsse un'adeguata risposta ai gas lacrimogeni del nemico. Con scelta perversa, il test fu eseguito sull'esercito britannico, che non aveva mai impiegato i gas. Fortunatamente si ripeté la situazione del primo attacco francese: il vento disperse i fumi e i soldati inglesi, che marcivano di noia immobili nelle trincee, non si accorsero di nulla.

Per nulla scoraggiati, i militari tedeschi decisero di aumentare i finanziamenti alla ricerca sui gas. Ma c'era un problema: la fastidiosa Convenzione dell'Aia, che i governi non volevano tradire apertamente (anche se l'avevano già fatto). Si uscì dall'impasse grazie a un'interpretazione letterale, e in definitiva truffaldina, del trattato, che imponeva di «rinunciare all'uso di proiettili il cui solo scopo sia la propagazione di gas velenosi o asfissianti». La Convenzione quindi – questo il cavillo – non si applicava a granate che trasportavano *sia* materiale esplosivo *sia* gas. Ci volle qualche astuzia ingegneristica, visto che il gas tossico era lanciato in forma liquida (evaporava all'impatto) e ciò creava grossi problemi balistici, ma il complesso militare-industriale-scientifico tedesco trionfò, e a fine 1915 era già pronto un proiettile da 150 millimetri riempito di bromuro di xilile, un lacrimogeno molto caustico. Fu battezzato *Weisskreuz*, cioè «croce bianca». Anche in questo caso, per il test furono risparmiati i francesi; ci si rivolse invece a est, dove l'esercito russo fu bombardato da una pioggia di diciottomila *Weisskreuze*. Fu una *débâcle* peggiore della prima: le temperature erano così basse da far congelare all'istante il composto tossico.

Dopo un'analisi del pessimo risultato sul campo, Haber lasciò perdere il bromo e concentrò gli sforzi sul suo cugino chimico, il cloro, che sta sopra di lui nella tavola periodica ed è ancora più pericoloso se inalato. È un elemento molto aggressivo nella sua ricerca del famoso ottavo elettrone, e poiché è più piccolo (un atomo di cloro pesa meno di metà di un atomo di bromo) è più agile nei suoi attacchi alle cellule. L'avvelenamento da cloro si riconosce perché le vittime hanno la pelle gialla, verde e nera e gli occhi coperti

da cataratte. Si muore annegati, a causa dei liquidi che si accumulano nei polmoni. Se il bromo si può paragonare a una falange di soldati che si scontra con le mucose, il cloro è un carro armato da guerra lampo, capace di sbaragliare le difese dell'organismo e di lacerare i bronchi.

Grazie a Haber, la pantomima degli attacchi con gas a base di bromo lasciò il posto alla spietata efficienza del cloro, di cui oggi si parla nei libri di storia. I soldati nemici presto impararono a temere il *Grünkreuz* («croce verde»), il *Blaukreuz* («croce blu») e soprattutto il tremendo gas vescicante *Gelbkreuz* («croce gialla»), noto anche come «gas mostarda». Non contento del suo contributo puramente scientifico, Haber si mise di persona al comando del primo vero attacco chimico della storia, che procurò a cinquemila impreparati soldati francesi, fermi nelle trincee fangose di Ypres, orribili bruciature e ferite. Trovò anche il tempo di ricavare una spaventosa legge, la Regola di Haber, che metteva in relazione la concentrazione del gas, il tempo di esposizione e il tasso di mortalità. Certo gli fu necessario raccogliere una mole tristemente ampia di dati per arrivarci.

Sconvolta dalle ricerche del marito, Clara lo affrontò di petto e gli chiese di smettere. Come al solito, Haber non le prestò attenzione. Le lacrime che sparse per la morte in un incidente di alcuni colleghi di laboratorio stridono con la sua decisione di festeggiare il successo delle sue armi con una grande cena al ritorno da Ypres. In quell'occasione Clara scoprì che era in licenza solo per una notte, pronto a ripartire per comandare nuovi attacchi sul fronte orientale. Dopo un violento litigio, la donna prese la pistola d'ordinanza del marito e si sparò al cuore nel giardino di casa. Di sicuro sarà stato colpito dalla tragedia, ma Haber non lasciò che questo episodio lo frenasse. Non si trattenne neppure per organizzare il funerale della moglie, e l'indomani mattina ripartì come previsto.

Nonostante l'incomparabile vantaggio di avere un simile uomo nelle sue file, la Germania perse la guerra e fu universalmente additata come nazione canaglia. La reazione della comunità scientifica internazionale alle imprese di Haber

fu più articolata. Nel 1919, a cannoni (e gas) ancora caldi, gli fu attribuito il Nobel per la chimica dell'anno precedente (l'assegnazione del premio fu sospesa durante la guerra), per la sua scoperta della produzione industriale dell'ammoniaca. Un anno dopo fu accusato di essere un criminale internazionale per aver perseguito una campagna di guerra chimica che aveva ucciso o ferito centinaia di migliaia di persone e terrorizzato milioni di altre – il che praticamente annullava la parte positiva del suo bilancio.

Le cose da allora andarono peggiorando. Haber visse le colossali riparazioni di guerra imposte alla Germania dagli Alleati come un'umiliazione personale. Passò sei anni a cercare invano di ricavare oro dal mare facendolo precipitare con reagenti chimici con l'intento di ripagare lui stesso i debiti della nazione. Altri progetti di ricerca si rivelarono ugualmente futili, e la sola cosa che attirò l'attenzione su di lui in quegli anni (oltre al tentativo di vendersi alla Russia come esperto di guerra chimica) fu un insetticida. Haber aveva inventato lo Zyklon A prima del conflitto, e la società IG Farben ne modificò la formula nel dopoguerra per produrre una seconda generazione, più efficace, di questo gas. Nel frattempo in Germania era salita al potere gente nuova, senza troppa memoria del passato, intollerante delle origini ebraiche del grande scienziato, il quale morì nel 1934, mentre cercava di scappare in Inghilterra. Le ricerche su quel nuovo composto continuarono e nel giro di pochi anni ne fu prodotta una nuova versione, lo Zyklon B, con cui i nazisti sterminarono milioni di ebrei, compresi i parenti di Haber.

La Germania volse le spalle a Haber non solo in quanto ebreo, ma perché ormai la sua invenzione era superata. Parallelamente alle ricerche sui gas tossici, durante la prima guerra mondiale l'apparato militare tedesco aveva condotto studi su una zona diversa della tavola periodica e alla fine aveva deciso che annientare i nemici con una combinazione di tungsteno e molibdeno era più sensato che bruciacchiarli con cloro o bromo. Ancora una volta, la guerra si combat-

teva grazie a semplici proprietà chimiche degli elementi. Il tungsteno sarebbe poi diventato il metallo «in» della seconda guerra mondiale, ma la storia del molibdeno è più interessante sotto molti aspetti. Quasi nessuno lo sa, ma il campo di battaglia più remoto della prima guerra mondiale non fu la Siberia o il deserto mediorientale teatro delle imprese di Lawrence d'Arabia, ma una miniera sulle Montagne Rocciose, in Colorado.

Dopo il gas, l'arma tedesca più temuta dagli avversari era la Grande Berta, un mortaio colossale prodotto dalla rinomata ditta Krupp, che devastava il morale dei soldati con la stessa brutalità con cui martellava le trincee belghe e francesi. I primi esemplari, che pesavano 43 tonnellate, dovevano essere trasportati a pezzi nel luogo di impiego e lì montati in sei ore da una squadra di duecento uomini. Tutto questo per poter lanciare granate da 420 millimetri pesanti più di 800 chili a distanza di nove chilometri in pochi secondi. La Berta aveva però un grosso handicap. Per tirare un macigno di quasi una tonnellata occorreavano interi barili di polvere, da cui si sprigionava una grande quantità di calore, che riscaldava e deformava il fusto di acciaio, lungo più di sei metri. Dopo alcuni giorni di fuoco infernale, anche se ci si limitava a sparare un paio di granate all'ora, il cannone era inutilizzabile.

Sempre molto attiva nel fornire armi letali alla patria, la Krupp trovò un modo per irrobustire l'acciaio dei cannoni: bastava aggiungergli del molibdeno. Questo materiale resiste meglio al forte calore, perché fonde a 2600 °C, ben al di sopra dei 1500 °C del ferro, ingrediente principale dell'acciaio. I suoi atomi sono più grandi, dunque si eccitano più lentamente, e hanno il 60 per cento di elettroni in più, sempre rispetto al ferro, dunque assorbono più calore e hanno legami più forti. Al variare della temperatura, gli atomi delle sostanze solide cambiano configurazione spontaneamente, spesso con risultati disastrosi (ci torneremo nel cap. 16). I metalli non di rado risultano fragili e si rompono con il caldo o il freddo. Nell'acciaio irrobustito con il molibdeno, invece, gli atomi di ferro sono ingabbiati e non se ne vanno in giro a far danni. (I tedeschi non furono i primi a scoprirlo. Un maestro spadaio giapponese del XIV se-

colo con un tocco di molibdeno realizzava spade per samurai leggendarie, dalla lama sempre affilata e indistruttibile. Ma questo emulo nipponico del dio Vulcano morì portando il suo segreto nella tomba, e la tecnica sparì per cinquecento anni – a dimostrazione che una tecnologia superiore non sempre si diffonde, e non di rado anzi va perduta) .

Torniamo al fronte. Ben presto i tedeschi cominciarono a martellare francesi e britannici con cannoni Berta di seconda generazione – questa volta con fusto di acciaio al molibdeno. Ma l'industria bellica del Reich si trovò di nuovo in una difficile situazione: la Germania infatti non produceva quell'elemento e le scorte minacciavano di esaurirsi in breve tempo. In effetti, l'unica fonte di molibdeno conosciuta, a quell'epoca, era una miniera in fallimento e quasi abbandonata a Bardett Mountain, nel Colorado.

Prima dello scoppio della guerra, un abitante del luogo aveva fatto richiesta di concessione mineraria dopo aver scoperto un giacimento che sembrava contenere minerali di piombo o stagno. In quel caso si sarebbe trattato di materiali con un certo valore commerciale, almeno qualche centesimo al chilo; invece si rivelò essere molibdeno, la cui estrazione costava più di quanto rendesse la vendita. I diritti di sfruttamento furono allora ceduti a un certo Otis King, un aggressivo ometto del Nebraska di professione banchiere. Con spirito imprenditoriale, questi adottò una nuova tecnica estrattiva, a cui nessuno aveva mai pensato, e in men che non si dica ricavò 26 quintali di molibdeno puro. Fu un'impresa che lo portò quasi alla rovina. Quelle due tonnellate e mezzo eccedevano la domanda mondiale annua del 50 per cento: King non soltanto aveva inondato il mercato, ma l'aveva letteralmente annegato nel molibdeno. Il governo americano prese atto del suo innovativo approccio al problema facendone menzione in un bollettino minerario del 1915.

Tra i pochi che si interessarono all'articolo c'era la Metallgesellschaft, tentacolare multinazionale con sede a Francoforte e filiale americana a New York, che possedeva miniere, fonderie e raffinerie in ogni parte del mondo. Quando i dirigenti di questa compagnia, che avevano stretti legami

con Fritz Haber, appresero dell'estrazione del molibdeno si misero in moto e ordinarono al loro rappresentante nel Colorado, tale Max Schott, di acquisire la miniera di Bartlett Mountain.

Schott – individuo descritto in possesso di «uno sguardo quasi ipnotico» – non perse tempo e mandò i suoi uomini a fare azione di disturbo, cercando di accaparrarsi la concessione e tormentando King con denunce pretestuose. Erano colpi difficili da sopportare, tanto più che la miniera navigava in cattive acque. I più violenti tra gli scagnozzi di Schott arrivarono a intimidire le famiglie dei minatori e a distruggere i loro quartieri in pieno inverno, quando la temperatura si aggirava sui meno trenta. Per proteggersi King assoldò come guardia del corpo un avanzo di galera sciancato soprannominato Adams «Due Pistole», ma gli emissari tedeschi riuscirono comunque a mettergli le mani addosso, a minacciarlo con coltelli e asce e a spingerlo in una scarpata, dove solo un providenziale banco di neve gli salvò la pelle. Come scrive nelle sue memorie quella che si autodefinisce la «moglie maschiaccio» di uno dei minatori, i tedeschi «per poco non ci ammazzavano, pur di sabotare l'impresa». I coriacei operai di King presero l'abitudine di chiamare «Molly-be-damned» («Molly sia maledetta») il metallo dal nome impronunciabile per il quale rischiavano la vita.

King aveva una vaga idea del perché «Molly» interessasse tanto ai tedeschi, ma era forse il solo in America o in Europa, Germania esclusa. Le cose cambiarono nel 1916, quando i britannici si impossessarono di un cannone nemico, lo fusero e ne analizzarono la composizione, scoprendo così la presenza del *Wundermetall*. Nel frattempo, nella miniera sulle Montagne Rocciose le schermaglie continuavano. Gli Stati Uniti entrarono in guerra solo nel 1917, dunque prima di allora non avevano particolari motivi per controllare le attività del ramo americano della Metallgesellschaft, che si fregiava anche del patriottico nome di American Metal. Quando nel 1918 il governo americano iniziò a ficcare il naso nelle faccende dell'azienda che impiegava Max Schott e soci, la American Metal poté sostenere di essere la legittima proprietaria della miniera: fiaccato dalle

vessazioni, Otis King l'aveva venduta per la misera somma di quarantamila dollari. C'era solo un piccolo particolare: per una strana coincidenza tutto il molibdeno veniva spedito in Germania. Il governo federale si affrettò a sequestrare il patrimonio della American Metal e a nazionalizzare la miniera di Bartlett Mountain, ma era troppo tardi per mettere a tacere la Grande Berta. In quello stesso anno, i tedeschi usarono altri modelli di cannoni fatti di acciaio al molibdeno per bombardare Parigi dalla sbalorditiva distanza di centoventi chilometri.

L'unica consolazione fu il fallimento della società di Schott nel marzo 1919, dopo l'armistizio, a causa del crollo dei prezzi del molibdeno. King riprese a investire in miniere e divenne milionario, perché convinse Henry Ford a usare l'acciaio speciale per costruire i motori delle sue auto. Ma l'utilizzo del molibdeno a fini bellici aveva i giorni contati: negli anni subito precedenti la seconda guerra mondiale era ormai stato rimpiazzato dall'elemento situato sotto di lui nella tavola periodica, il tungsteno.

Il molibdeno è forse uno degli elementi più difficili da pronunciare, mentre il tungsteno è uno di quelli dal simbolo più misterioso: una strana e isolata W. In realtà è semplicemente l'iniziale del suo nome in tedesco, *Wolfram* – e in quel *Wolf*, «lupo», c'è una sorta di presagio del suo nefasto ruolo in battaglia. La Germania nazista aveva una tale brama di tungsteno, per costruire macchinari e missili in grado di perforare le più dure corazze, che non esitava a barattarlo in cambio di oro. E chi faceva affari con i nazisti? Non le altre due potenze dell'Asse, Giappone e Italia, né le nazioni occupate durante la guerra, come Belgio e Polonia, ma il teoricamente neutrale Portogallo, che assunse il compito di placare la fame da lupi della macchina da guerra germanica.

All'epoca, il Portogallo era una nazione difficile da collocare geopoliticamente. Da un lato prestava agli Alleati una importantissima base aerea sulle Azzorre; e come ben sa chi ha visto *Casablanca*, Lisbona era una meta ambita per chi cercava di sfuggire dai territori occupati dai nazisti, visto che da lì si potevano raggiungere la Gran Bretagna o gli Stati Uniti. D'altro canto il dittatore Antonio Salazar tollerava la presenza

di filonazisti nel suo governo e ospitava senza problemi un buon numero di spie dell'Asse. Con notevole faccia di bronzo, nel corso della guerra vendette anche tonnellate di tungsteno a entrambi i contendenti. Da bravo ex professore di economia, Salazar sfruttò la posizione di quasi monopolio del suo Paese (che deteneva il 90 per cento delle riserve europee) per spuntare prezzi dieci volte maggiori di quelli del tempo di pace. L'operazione si sarebbe potuta giustificare se il Portogallo avesse avuto una tradizione commerciale di scambi con la Germania e avesse voluto assicurarsi contro l'impoverimento in tempo di guerra, ma in realtà le vendite a grande scala iniziarono solo nel 1941. Come giustificazione, Salazar sosteneva che la neutralità del Paese gli dava la possibilità di chiedere i prezzi che voleva a entrambi i belligeranti.

I fatti si svolsero in questo modo. Grazie al molibdeno, la Germania aveva imparato la lezione e, compresa l'importanza strategica del tungsteno, aveva cercato di accaparrarsene grandi quantità prima di mettersi d'impegno per cancellare i confini con Polonia e Francia. Il tungsteno è uno dei metalli più duri che esistano e la sua aggiunta all'acciaio lo rende particolarmente adatto per oggetti come punte di trapano o segchetti; ne basta una quantità relativamente piccola per costruire proiettili, detti appunto «perforanti», in grado di distruggere anche i carri armati. Il motivo della sua superiore efficacia come additivo dell'acciaio si può ricavare dalla tavola periodica. Il tungsteno ha proprietà chimiche simili al molibdeno, situato sopra di lui, ma un maggior numero di elettroni, che lo porta ad avere un punto di fusione ancor più alto, circa 3400 °C. Inoltre il suo maggior peso atomico gli consente di avere una migliore presa nel legare e stabilizzare gli atomi di ferro. Ricorderete che l'agile e leggero cloro era ideale negli attacchi con i gas, ma nel campo dei duri metalli la solidità e la forza sono caratteristiche più desiderabili.

Così desiderabili che quegli spendaccioni dei nazisti finirono le scorte già nel 1941, e a quel punto entrò in gioco il Führer in persona. Hitler ordinò ai suoi ministri di arraffare tutto il tungsteno che i treni potevano portare attraverso la Francia conquistata. La cosa inquietante è che le operazioni

avvenivano alla luce del sole, non c'era un mercato nero per questo metallo grigiastro. Il tungsteno partiva dal Portogallo e attraversava la Spagna, anch'essa governata da un regime fascista ufficialmente neutrale; in senso inverso, l'oro rubato agli ebrei (compreso quello dei denti strappati ai deportati prima di essere uccisi nelle camere a gas) veniva riciclato in banche portoghesi e svizzere – altro Paese ufficialmente neutrale. (A distanza di cinquant'anni, un importante istituto di credito di Lisbona sosteneva ancora di non esser stato a conoscenza del fatto che le 44 tonnellate d'oro ricevute durante la guerra fossero di provenienza illecita, nonostante il marchio della svastica fosse impresso su molti lingotti).

Anche l'Inghilterra, pur impegnata in una strenua resistenza, sembrò non fare caso al traffico di tungsteno che contribuiva a falciare i suoi figli. Il primo ministro Winston Churchill sosteneva in privato che il Portogallo commetteva delle «marachelle», e per fugare ogni dubbio sul suo pensiero aggiungeva che Salazar aveva «tutte le ragioni» a commerciare con i nemici mortali del Paese. Una sola nazione, anche in questo caso, era fermamente contraria. Gli Stati Uniti, campioni del libero mercato, erano su tutte le furie al pensiero di una tale spudorata azione capitalistica a favore della Germania nazionalsocialista. Gli americani non capivano perché Churchill non convincesse con le buone o le cattive il Portogallo a uscire dalla sua lucrosa neutralità. Solo dopo ripetute pressioni d'oltreoceano Churchill si risolse a fare la voce grossa con il dittatore Salazar.

Fino a quel punto il ras del Portogallo (se per un attimo tralasciamo ogni giudizio morale) si era giostrato in modo brillante tra i due schieramenti, e con l'aiuto di vaghe promesse, patti segreti e temporeggiamenti aveva tenuto in marcia i treni del tungsteno. Il prezzo dell'unico bene esportabile del Paese era salito da 1100 dollari a tonnellata nel 1940 fino a 20000 nel 1941; in pochi anni di frenetiche speculazioni, si misero da parte ben 170 miliardi di dollari. Alla fine le scuse non erano più credibili, e così il 7 giugno 1944 Salazar vietò la vendita del tungsteno alla Germania: era il giorno dopo lo sbarco in Normandia. Gli Alleati erano in altre faccende af-

faccendati (e penso fossero anche scandalizzati), dunque il Portogallo non subì rappresaglie. Se ricordo bene le parole di Rhett Butler in *Via col vento*, le grandi fortune si creano solo quando gli imperi nascono o crollano, e Salazar era un sicuro sostenitore di questa teoria. Nella guerra del «metallo del lupo», fu il dittatore portoghese a far risuonare per ultimo la sua risata da licantropo.

Le vicende del tungsteno e del molibdeno furono l'antipasto di una vera e propria rivoluzione metallurgica avvenuta nella seconda metà del XX secolo. I metalli costituiscono i tre quarti di tutti gli elementi, ma prima della seconda guerra mondiale erano in gran parte riempibuchi della tavola periodica, se si escludono ferro, alluminio e pochi altri. (Non avrei potuto scrivere un libro come questo quarant'anni fa, perché non avrei avuto abbastanza materiale). A partire dagli anni Cinquanta, però, ognuno ha trovato il suo posto nel mondo. Il gadolinio è ideale per la risonanza magnetica. Con il neodimio si costruiscono laser di potenza inusitata. Lo scandio, ora usato come additivo dell'alluminio (stile tungsteno nell'acciaio) per costruire ad esempio i telai delle biciclette, negli anni Ottanta è entrato nella produzione degli elicotteri superleggeri sovietici e, pare, è stato utilizzato per ricoprire la punta dei missili balistici intercontinentali nascosti sotto i ghiacci dell'Artico.

Purtroppo, tra tutti i progressi tecnologici degli ultimi anni ci sono anche quelli legati alle guerre, e parliamo di pochi anni fa, non di epoche remote. In modo tristemente appropriato, due elementi tra i più micidiali sono stati battezzati in onore di due personaggi della mitologia greca famosi per le loro sofferenze. Niobe attirò su di sé l'ira degli dèi perché, orgogliosa dei suoi sette figli e delle sue sette figlie, si burlò della dea Latona che ne aveva avuti solo due; gli abitanti dell'Olimpo, facili all'ira, per ripicca glieli uccisero tutti. Tantalo, colpevole di vari misfatti, fu condannato a rimanere per l'eternità immerso fino al collo in un lago sotto un ramo carico di frutti, senza poter bere né mangiare: ogni volta che ci provava il ramo si allontanava e

l'acqua si abbassava. Ma le pur terribili sofferenze di questi due personaggi impallidiscono in confronto a quelle che gli elementi loro omonimi hanno arrecato nell'Africa centrale.

Con alta probabilità, in questo momento nella vostra tasca si trova un po' di tantalio o un po' di niobio. Questi due elementi, come i loro vicini di tavola periodica, sono densi, resistono al calore e alla corrosione e hanno buona capacità elettrica, tutte qualità che li rendono indispensabili nella costruzione di telefoni portatili maneggevoli. A metà degli anni Novanta, i produttori di cellulari iniziarono a richiedere quantità sempre maggiori dei due metalli, soprattutto il tantalio, e si rivolsero al principale produttore mondiale: la Repubblica Democratica del Congo, allora chiamata Zaire. Questa nazione centraficana confina con il Ruanda, tristemente noto per le carneficine degli anni Novanta. Molto meno noto è quanto accadde nel 1996, quando dopo la caduta del governo ruandese gli hutu entrarono in massa nel territorio congolese in cerca di salvezza. Allora sembrò solo una questione locale, ma con il senno di poi fu la miccia che accese una montagna di risentimenti e odi razziali covati per anni sotto la paglia. Nel giro di qualche anno, la fitta giungla centrafricana fu testimone di un conflitto che coinvolse nove nazioni e duecento gruppi tribali, ognuno con le sue alleanze e vendette da compiere.

Ciò nonostante, se la guerra si fosse limitata a uno scontro tra eserciti regolari, forse si sarebbe esaurita in poco tempo. Più vasto dell'Alaska e denso di vegetazione come il Brasile, il Congo è ancor meno servito di strade di questi due Paesi: non è quindi l'ambiente ideale per grandi campagne militari. Inoltre, i poveri abitanti dei villaggi non possono permettersi di abbandonare i raccolti e andare a combattere, a meno che non ci sia da guadagnare qualcosa. E qui che entrano in scena il tantalio, il niobio e la tecnologia dei cellulari. È chiaro che i telefonini non sono i diretti responsabili della guerra, che fu invece causata da antichi odi e risentimenti. Ma è altrettanto chiaro che il conflitto è stato alimentato dal denaro. La Repubblica Democratica del Congo possiede il 60 per cento delle riserve Mondiali di coltan, miscela complessa di minerali di tantalio e niobio. Dopo il boom dei cellulari, le cui vendite an-

nue passarono da poche migliaia di unità nel 1991 a più di un miliardo nel 2001, la fame di questo minerale nel mondo occidentale si è rivelata forte come quella di Tantalo, e il prezzo da allora è decuplicato. I fornitori di materie prime per la telefonia non si facevano troppe domande sulla provenienza del materiale e i minatori congolese non avevano idea della sua utilità; a loro interessava solo il fiume di soldi che i bianchi erano disposti a pagare, che utilizzavano per finanziare la fazione preferita.

Paradossalmente, il coltan procurò tante sciagure perché era un minerale democratico. Mentre ai tempi della corrotta dominazione belga le miniere di oro e di diamanti congolese erano saldamente in mano ai colonialisti, quelle di coltan non erano di nessuno, perché l'estrazione del materiale non richiedeva particolari investimenti. Un uomo qualunque dotato di pala e buone braccia era in grado di ricavarne svariati chili semplicemente scavando il letto di certi torrenti (il coltan si presenta sotto forma di una spessa fanghiglia); in poche ore, un contadino poteva guadagnare venti volte il suo salario medio annuale. Al crescere della domanda, sempre più agricoltori abbandonavano le loro terre per andare in cerca di coltan; ciò ebbe conseguenze assai negative sulle già scarse risorse alimentari del Paese, e la gente si mise a cacciare i gorilla per mangiarli, portandoli sull'orlo dell'estinzione come i bisonti nel West. Ma le stragi di scimmie non erano nulla a confronto delle atrocità commesse sugli esseri umani. Far affluire grandi quantità di denaro in una nazione praticamente senza governo non è una buona idea. Nacque infatti un brutale capitalismo spontaneo in cui ogni cosa, vite umane comprese, era in vendita. Comparvero enormi accampamenti recintati pieni di prostitute ridotte in schiavitù, e si misero taglie sanguinose sulla testa dei rivali. Le storie che si raccontano sono terribili: si parla addirittura di vincitori che facevano scempio dei cadaveri dei vinti ammantandosi con i loro visceri e danzando di gioia.

Gli anni peggiori furono quelli compresi tra il 1998 e il 2001. A quel punto i produttori di cellulari si accorsero che stavano fomentando l'anarchia e, sia detto a loro merito, iniziarono ad acquistare tantalio e niobio in Australia, pur

sapendo di dover pagare prezzi più alti. Le cose in Congo si sono calmate un po', ma nonostante la firma di una tregua ufficiale nel 2003, la situazione rimane sempre molto tesa nelle regioni orientali al confine con il Ruanda. Negli ultimi tempi si è aggiunta anche la grana dello stagno. L'Unione Europea nel 2006 ha bandito le saldature a piombo in tutti i beni destinati alla vendita e molti produttori le hanno sostituite con quelle allo stagno, che guarda caso è particolarmente abbondante nell'ex Zaire. Joseph Conrad scrisse che lo sfruttamento del Congo fu «il più spregevole saccheggio che abbia mai sconciato la storia dell'umana coscienza», e oggi ci sono pochi motivi per cambiare opinione.

A partire dalla metà degli anni Novanta, guerre e guerriglie nella Repubblica Democratica del Congo hanno mietuto più di cinque milioni di vittime, il peggiore macello dai tempi della seconda guerra mondiale. In questo caso la tavola periodica ha dimostrato che, oltre a tante storie edificanti, contiene pure la miccia per scatenare i peggiori e più bestiali istinti umani.⁶

UN FINALE ESPLOSIVO (PER LA TAVOLA)

⁶¹ Pm	⁹⁴ Pu	²⁷ Co
145.0	(244)	58.993

Una supernova disseminò nel nostro sistema solare tutti gli elementi naturali, e i moti convettivi nel materiale fuso dei giovani pianeti fecero sì che questi elementi risultassero ampiamente distribuiti negli strati rocciosi. Ma questi due processi, da soli, non possono spiegare tutti gli aspetti dell'attuale distribuzione dei minerali sulla Terra. Dall'epoca della supernova, infatti, intere specie di elementi si sono estinte perché i loro nuclei erano troppo fragili per sopravvivere in condizioni naturali. Questa instabilità lasciava nella tavola periodica dei vuoti apparentemente inspiegabili, lacune che i ricercatori, contrariamente a quanto accadeva all'epoca di Mendeleev, non riuscivano a colmare, per quanto si arrovelassero. Era un fatto sconcertante. Perché la tavola venisse completata bisognò attendere che lo sviluppo di nuovi campi di ricerca consentisse agli scienziati di creare loro stessi nuovi elementi e li rendesse al tempo stesso consapevoli dei gravi pericoli che si nascondevano dietro la fragilità di alcuni di essi. La creazione e la distruzione degli atomi si rivelarono più intimamente legate di quanto si potesse immaginare.

Tutto era iniziato all'Università di Manchester, dove, negli anni precedenti la prima guerra mondiale, si era formato un brillante gruppo di ricerca sotto la guida di Ernest Rutherford, direttore del laboratorio. Il più dotato tra i suoi

studenti era probabilmente Henry Moseley. Benché fosse figlio di un naturalista tenuto in grande considerazione da Charles Darwin, era più interessato alle scienze «dure», come la fisica e la chimica. Viveva in pratica in laboratorio, dove passava anche quindici ore di fila alimentandosi solo con frutta e formaggio, quasi temesse di non aver tempo per completare tutte le sue ricerche. Come molti piccoli geni dell'epoca, Moseley era però un asociale, oltre che un rompiscatole e uno snob. E ostentava disgusto per la «sporcizia maleodorante» degli stranieri che abitavano a Manchester.

Ma grazie al suo talento gli si perdonava un po' tutto. Nonostante lo scetticismo di Rutherford, che giudicava quelle ricerche una perdita di tempo, Moseley si appassionò allo studio degli elementi, che bombardava con fasci di elettroni. Si assicurò la collaborazione del fisico Charles Galton Darwin, nipote del naturalista, e nel 1913 iniziò a sondare sistematicamente tutti gli elementi conosciuti, fino all'oro. Oggi sappiamo che quando un fascio di elettroni colpisce un atomo gli strappa uno o più elettroni e lascia una specie di buco. Poiché la natura aborre il vuoto, altri elettroni corrono a tappare la falla e a causa della loro frenetica attività emettono raggi X ad alta energia. Con meraviglia, Moseley scoprì una precisa relazione matematica tra la lunghezza d'onda di queste emissioni e il numero atomico dell'elemento (ovvero il numero di protoni contenuti nel nucleo), che definisce la sua posizione sulla tavola.

Dopo la pubblicazione nel 1869 della prima versione di Mendeleev, la tavola aveva subito una serie di modifiche. Tanto per cominciare, in origine era disposta in verticale, poi qualcuno fece notare che era meglio ruotarla di novanta gradi. Nei quarant'anni successivi i chimici l'avevano rimaneggiata aggiungendo colonne e riordinando gli elementi. Ed erano spuntate le prime anomalie, che facevano sorgere dubbi sulla reale comprensione dei meccanismi in gioco. In genere gli elementi si allineano come tanti soldatini in ordine di peso crescente. Secondo questo criterio, il nichel dovrebbe precedere il cobalto; però perché tutto torni a livello chimico (di modo che il cobalto stia nella colonna degli elementi affini al cobalto, e il nichel in quella degli elementi affini al

nichel), i due devono scambiarsi di posto. Nessuno allora sapeva il perché – e non era il solo caso in cui ciò accadeva. Per aggirare la difficoltà i chimici si inventarono un altro tipo di segnaposto, il numero atomico, mossa che in realtà nascondeva una generale ignoranza sul suo vero significato.

Moseley, all'epoca appena venticinquenne, risolse l'enigma spostando il problema dal campo della chimica a quello della fisica. Dobbiamo ricordare, ed è un elemento cruciale della storia, che allora ben pochi scienziati credevano all'esistenza del nucleo atomico. Solo due anni prima, Rutherford aveva ipotizzato la presenza di un oggetto compatto e di carica positiva al centro dell'atomo, ma rimaneva un'idea non dimostrata e troppo azzardata per la maggior parte dei colleghi. Le ricerche di Moseley ne diedero una prima conferma. Come disse una volta Niels Bohr, un altro allievo di Rutherford, nel 1962: «Oggi è difficile da capire, ma allora [i lavori di Rutherford] non furono presi affatto sul serio... Tutto cambiò grazie a Moseley». Questo perché Moseley associò la posizione di un elemento sulla tavola a una ben determinata caratteristica fisica, di fatto identificando il numero atomico con la carica nucleare positiva. E lo fece con un esperimento che chiunque avrebbe potuto riprodurre. Si dimostrava così che l'ordinamento degli elementi non era arbitrario, ma derivava da una effettiva comprensione della struttura dell'atomo. Anomalie come quelle del nichel e del cobalto acquistavano a un tratto significato: il nichel, più leggero, aveva un maggior numero di protoni e dunque una carica positiva più forte, quindi doveva stare dopo il cobalto. Mendeleev e colleghi avevano scoperto il cubo di Rubik degli elementi, Moseley l'aveva risolto. Sembrava che non ci fosse più bisogno di cercare spiegazioni ad hoc.

Oltretutto il suo cannone elettronico, proprio come lo spettroscopio, contribuì a portare ordine in un guazzabuglio di specie radioattive e a confutare le pretese di chi pensava d'aver scoperto una nuova sostanza. Il lavoro di Moseley ridusse a quattro i buchi della tavola periodica prima dell'oro, cioè gli elementi teoricamente possibili ma non ancora scoperti: i numeri 43, 61, 72 e 75. (Procurarsi so-

stanze più pesanti dell'oro era troppo costoso e complicato nel 1913; se le avesse avute a disposizione, avrebbe scoperto altri buchi ai posti 85, 87 e 91).

In quegli anni, però, fisici e chimici non si fidavano gli uni degli altri. Autorevoli scienziati non credevano al lavoro di Moseley e al suo grande potenziale. Il francese Georges Urbain sfidò il giovane ambizioso facendogli recapitare un campione di un minerale simile a quelli trovati a Ytterby, contenente un miscuglio di terre rare di difficile identificazione. Dopo vent'anni di studi e ricerche, Urbain era diventato un maestro in quelle complesse tecniche; analizzare il minerale in questione gli era costato mesi di noioso lavoro, dunque pensava di creare qualche imbarazzo. Non fu così: Moseley ci mise solo un'ora per trovare la lista corretta di elementi.¹ Le terre rare che avevano fatto tanto penare Mendeleev erano ormai facilmente identificabili.

Ma furono altri a scoprirne la maggior parte. Come un moderno Prometeo, questo giovane pioniere della fisica nucleare, la cui opera avrebbe guidato nel buio le generazioni successive, fu punito dagli dèi. Allo scoppio della prima guerra mondiale, Moseley si arruolò volontario, nonostante il parere contrario della commissione di leva, e combatté nella sfortunata campagna di Gallipoli nel 1915. Quando l'esercito turco si scagliò in falangi compatte contro quello britannico, la battaglia degenerò in uno scontro all'arma bianca, combattuto strada per strada con coltelli, pietre e persino morsi. Nel mezzo di quella mischia selvaggia, il ventisettenne Moseley fu tra i caduti. Si parla sempre della «generazione perduta» di giovani poeti e scrittori, vittime di un'inutile strage sui campi di battaglia della prima guerra mondiale. Ma come disse amaramente un altro scienziato, la sola perdita di Moseley bastava a classificare il conflitto come «uno dei più ripugnanti crimini della storia, dalle conseguenze irreparabili».²

Il modo migliore per onorare la sua memoria era scovare tutti gli elementi mancanti da lui segnalati. E in effetti le sue ricerche, grazie alle quali tutti dall'oggi al domani avevano una chiara idea di cosa e come cercare, furono di tale ispirazione per le generazioni successive che la caccia agli

elementi divenne fin troppo popolare, come un safari. Ben presto sorsero dispute per attribuire la paternità della scoperta di afnio (il n. 72), protoattinio (91) e tecnezio (43). Alla fine degli anni Trenta altri gruppi di ricercatori riempirono le caselle 85 e 87, creando elementi in laboratorio. Nel 1940 mancava solo un elemento, il premio finale: il numero 61.

Stranamente, però, il campo di battaglia era ristretto a pochi gruppi di ricerca sparsi per il mondo. Il team capitanato da Emilio Segrè cercò di produrne un campione artificialmente e con tutta probabilità ci riuscì senza accorgersene nel 1942, ma rinunciò dopo qualche tentativo. Ci vollero altri sette anni perché tre scienziati dell'Oak Ridge National Laboratory del Tennessee annunciassero pubblicamente, durante un convegno a Philadelphia, di aver trovato l'elemento 61 all'interno di un campione di minerale di uranio esausto. Dopo solo pochi secoli di ricerche, la chimica era riuscita a riempire tutti i buchi della tavola periodica.

Ma la novità non destò particolare entusiasmo. Il terzetto annunciò che la scoperta risaliva in realtà a due anni prima ma che non ne avevano dato comunicazione perché troppo occupati con il loro vero lavoro: l'uranio. La reazione della stampa fu proporzionalmente tiepida. Sul «New York Times» la notizia fu infilata in mezzo a un articolo dove si parlava di una nuova quanto dubbia tecnica estrattiva che ci avrebbe garantito un altro secolo di petrolio. Il «Time» la nascose nella cronaca del convegno e la trattò con sufficienza, dichiarandola «non molto utile». ³ Poi gli scopritori, a sorpresa, annunciarono di aver scelto per il nuovo elemento il nome «prometeo» (oggi promezio). I nomi assegnati agli elementi scoperti prima di allora nel XX secolo di solito erano pretenziosi o didascalici, ma «prometeo» – come il titano della mitologia greca che rubò il fuoco agli dèi per donarlo al genere umano e che per questo fu condannato al supplizio di avere il fegato divorato in eterno da un avvoltoio – aveva un che di cupo e sinistro, associato persino a sensi di colpa.

Che cos'era accaduto, allora, nel frattempo? Perché la caccia agli elementi mancanti – un tempo ritenuta così im-

portante che un collega di Moseley aveva definito la sua morte un crimine «dalle conseguenze irreparabili» – ora veniva relegata in due righe di giornale? È vero, il prometeo non serviva a niente, ma quante volte gli scienziati si accendono di entusiasmo per scoperte prive di applicazioni pratiche! In ogni caso il completamento della tavola periodica era un evento epocale, il coronamento di milioni di ore di ricerche. Non è neppure che ci si fosse stufati di cercare nuovi elementi – un'impresa che aveva visto competere accanitamente russi e americani fin dall'inizio della guerra fredda. No, il motivo era che la natura e le dimensioni della ricerca nucleare erano cambiate profondamente. L'umanità aveva visto cose incredibili. Un «peso medio» come il prometeo non poteva certo competere con l'uranio e il plutonio, senza parlare del loro prodotto più noto: la bomba atomica.

Una mattina del 1939, un giovane fisico dell'Università della California a Berkeley si accomodò sulla poltrona regolabile del barbiere dell'unione studentesca per un taglio di capelli. Nessuno sa quale fosse l'argomento di conversazione quel giorno – se quella canaglia di Hitler, «maledetto figlio di puttana!», o quali possibilità avessero gli Yankee di vincere per la quarta volta consecutiva il campionato di baseball. Sia come sia, Luis Alvarez (non ancora celebre per la sua teoria sull'estinzione dei dinosauri) chiacchierava sfogliando distrattamente il «San Francisco Chronicle», quando l'occhio gli cadde su una notizia d'agenzia. A quanto pareva in Germania il fisico Otto Hahn stava facendo esperimenti sulla fissione, cioè sulla rottura, dell'atomo di uranio. Come ricorda un amico, Alvarez lasciò il barbiere «con la forbice a mezz'aria», saltò in piedi e, con i capelli tagliati a metà, si mise a correre in direzione del suo laboratorio, su per la collina. Lì prese al volo un contatore Geiger, andò dritto nel punto dove era conservato un campione di uranio irradiato e si mise a chiamare ad alta voce chiunque fosse a portata di orecchio.

Lo scatto di Alvarez non è solo un aneddoto divertente, ma è emblematico di cosa fosse all'epoca la ricerca sui nuclei. Si

erano fatti progressi lenti ma costanti nella comprensione dei meccanismi che regolavano l'interno degli atomi, ma erano pezzetti isolati di conoscenza. Poi, all'improvviso, una singola scoperta scatenò la corsa all'oro.

Moseley aveva dato dignità alle scienze atomiche e nucleari, che a partire dagli anni Venti attirarono molti giovani ricercatori di talento. Nonostante il moltiplicarsi degli sforzi, i progressi si erano dimostrati più difficili del previsto. Parte del problema era, indirettamente, colpa dello stesso Moseley. Grazie al suo lavoro si era dimostrato che gli isotopi come il piombo 204 o 206 avevano la stessa carica positiva ma pesi atomici diversi. In un'epoca che conosceva solo protoni ed elettroni, la spiegazione di questo fenomeno portò a ipotesi anche assai strampalate; c'era chi pensava, ad esempio, che i protoni «divorassero» gli elettroni, con un meccanismo analogo a quello del videogioco «Pac-Man». ⁴ Inoltre, per studiare il comportamento delle particelle subatomiche si era reso necessario inventare un modello radicalmente nuovo, la meccanica quantistica: era talmente rivoluzionario che ci vollero molti anni per capire come applicarlo con successo al semplice caso di un atomo di idrogeno isolato.

Nel frattempo stava prendendo corpo anche il campo collegato delle ricerche sulla radioattività, cioè lo studio del modo in cui i nuclei si rompono. Ogni atomo che si rispetti è in grado di rubare elettroni agli altri, ma grazie al lavoro di geni come Marie Curie ed Ernest Rutherford sappiamo che alcuni elementi più rari riescono anche ad alterare il proprio nucleo e proiettare in giro frammenti atomici. Rutherford, in particolare, diede l'avvio a una classificazione delle emissioni o «decadimenti», che si rivelarono di soli tre tipi, battezzati alfa, beta e gamma. Il decadimento gamma è il più semplice ma anche il più letale, e infatti popola i nostri incubi atomici; accade quando il nucleo emette raggi X ad alta energia. Gli altri due tipi comportano la trasformazione di un elemento in un altro, processo che negli anni Venti sembrava stregonesco. Ma visto che ogni elemento diventa radioattivo a modo suo, la vera natura dei decadimenti alfa e beta continuava a sfuggire ai ricercatori, che erano sempre più frustrati anche dal

comportamento degli isotopi. Il «modello Pac-Man» era in discredito; qualche ardito ipotizzò allora che l'unico modo per trattare la proliferazione dei nuovi isotopi era smantellare la tavola periodica.

Il grande salto in avanti collettivo – il momento in cui ci si diede una pacca sulla fronte esclamando «Ma è ovvio!» – fu nel 1932, quando James Chadwick, un altro allievo di Rutherford, scoprì il neutrone, particella neutra che aumenta il peso di un atomo senza alterarne la carica. Insieme con le intuizioni di Moseley sul numero atomico, questa novità rendeva possibile una teoria coerente degli elementi (per lo meno degli atomi isolati). Gli isotopi 204 e 206 sono entrambi piombo, hanno la stessa carica positiva nel nucleo e stanno nella stessa casella della tavola periodica, anche se a causa dei neutroni hanno diversi pesi atomici. Anche la radioattività acquistava un senso nuovo. Il decadimento beta era la conversione di neutroni in protoni o viceversa, dunque cambiava la carica, dunque l'elemento si trasformava in un altro. Anche il decadimento alfa comportava una trasformazione di elementi, la più spettacolare a livello nucleare, in cui due neutroni e due protoni sono espulsi dall'atomo.

Negli anni successivi all'annuncio di Chadwick, i neutroni si dimostrarono ben più di un utile modello teorico. Tanto per iniziare, queste particelle fornivano uno strumento straordinario per sondare le viscere della materia: essendo elettricamente neutre, si potevano sparare contro gli atomi senza che fossero respinte come le particelle cariche. Grazie ai neutroni, poi, fu possibile indurre un nuovo tipo di radioattività. Gli elementi, specialmente i più leggeri, tendono a mantenere un ugual numero di protoni e neutroni; se un atomo si trova sovraccarico di particelle neutre, si divide emettendo energia oltre ai neutroni in eccesso. E se nelle vicinanze si trovano altri atomi che li assorbono, questi a loro volta diventano instabili, espellono altri neutroni e fanno partire la cosiddetta reazione a catena. Un fisico di nome Leo Szilàrd ipotizzò l'esistenza di questo fenomeno nel 1933 (pare che l'ispirazione gli venisse a Londra mentre era fermo a un semaforo). L'anno seguente brevettò la sua idea e già nel 1936 cercò di realizzare ma-

terialmente una reazione a catena con elementi leggeri, senza però riuscirci.

Teniamo d'occhio le date. In quegli anni, mentre neutroni, protoni ed elettroni trovavano una loro sistemazione teorica coerente, il vecchio ordine politico mondiale si stava sgretolando. Il giorno in cui Alvarez scappò precipitosamente dal barbiere, l'Europa era già avviata verso la catastrofe.

Il bel mondo antico della ricerca degli elementi mancanti finì più o meno allora. Grazie al nuovo modello del nucleo, ci si rese conto che i pochi buchi ancora rimasti nella tavola periodica erano tali perché occupati da elementi intrinsecamente instabili, che magari in passato abbondavano sul nostro pianeta ma che ormai si erano tutti disintegrati. Questa teoria sembrava funzionare ma segnò anche in pratica la fine delle ricerche che l'avevano stimolata. Ben presto gli scienziati che studiavano gli elementi instabili si imbarcarono nella fissione nucleare e nella reazione a catena, si accorsero che gli atomi si potevano spezzare e compresero le conseguenze sia scientifiche sia politiche della cosa; da allora la ricerca di nuovi elementi sembrò un'attività da collezionista erudito più che da scienziato, come il naturalismo ottocentesco con i suoi animali impagliati paragonato alla moderna biologia molecolare. Ecco perché, con una guerra mondiale alle porte e la possibilità teorica di costruire la bomba atomica all'orizzonte, nessuno si prese la briga di andare a scovare il promezio per un decennio.

Ma nonostante le grandi aspettative sulle armi a fissione, c'era ancora un gigantesco lavoro da fare per passare dalla teoria alla pratica. Oggi sembra difficile da credere, ma all'inizio le bombe nucleari erano considerate un'ipotesi molto futuristica, soprattutto dai militari. L'esercito, come sempre accade, non vedeva l'ora di impiegare a fini bellici gli scienziati, che già avevano esacerbato gli orrori della guerra con lo sviluppo di tecnologie come quella degli acciai rinforzati. Ma forse il conflitto non sarebbe finito con due grandi nubi a forma di fungo sul Giappone se il governo americano, invece di chiedere ai tecnici armi più grosse e potenti da impiegarsi immediatamente, non avesse avuto

la volontà politica di investire miliardi di dollari in un campo di ricerca che allora sembrava teorico e con poche applicazioni pratiche: la scienza nucleare. E pur se forniti di enormi risorse, gli scienziati dell'epoca si trovarono di fronte a un compito così arduo – capire come rompere gli atomi in modo controllato –, che dovettero inventare una strategia di ricerca radicalmente nuova: il metodo Montecarlo, una tecnica che rivoluzionò l'idea stessa del «fare scienza».

Grazie alla meccanica quantistica, che si applicava bene allo studio degli atomi isolati, all'inizio degli anni Quaranta si sapeva che dopo l'assorbimento di un neutrone gli atomi diventavano nervosi e alla fine esplodevano, liberando in certi casi altri neutroni. Seguire la traiettoria di una particella isolata era semplice come per una palla da biliardo; ma per iniziare una reazione a catena era necessario coordinare la danza di miliardi di miliardi di neutroni, ognuno con una diversa velocità e direzione. Gli apparati sperimentali dell'epoca, costruiti per ricerche su particelle singole, si dimostravano inutili. Inoltre uranio e plutonio erano sostanze costose e pericolose, il che rendeva impraticabili certi tipi di ricerche dirette.

Ma gli scienziati impegnati nel Progetto Manhattan avevano ordini precisi: calcolare la quantità esatta di plutonio e uranio necessaria per costruire la bomba. Con troppo poco materiale non sarebbe avvenuto l'innescio; l'uso di una quantità eccessiva non avrebbe comportato problemi tecnici, ma strategici ed economici; gli ingredienti della bomba erano spaventosamente complicati da preparare (il plutonio doveva anche essere sintetizzato, oltre che purificato), dunque un errore in questo senso avrebbe inutilmente prolungato la guerra di parecchi mesi. Per cavarsi d'impiccio, qualche scienziato pragmatico decise di abbandonare le strade ben battute dello studio teorico e della sperimentazione e si inventò un altro percorso.

Il processo inizia con la scelta di un neutrone vagante all'interno di un campione di plutonio (o uranio), a cui si assegnano valori arbitrari per velocità e direzione. Altri numeri casuali sono associati a vari parametri, come la quantità di

plutonio, la probabilità che il neutrone scappi prima di essere assorbito, financo la forma geometrica del campione. Osserviamo che questa strategia abbandona la pretesa di universalità, perché i risultati dei calcoli si applicano non a un generico neutrone, ma solo a quelli con specifiche caratteristiche. Rinunciare a modelli universali è una cosa che gli scienziati detestano, ma in questo caso non avevano altra scelta.

A questo punto entrava in scena un gruppo di giovani donne raccolte in una stanza (spesso le mogli degli scienziati, annoiate a morte nel nulla di Los Alamos), che munite di carta e penna si mettevano a fare calcoli (spesso applicando formule di cui ignoravano il significato) utilizzando i dati casuali di cui sopra come input. Dai risultati si capiva se in quel caso il neutrone iniziale veniva assorbito o no dal plutonio, quanti altri neutroni venivano eventualmente emessi dopo il primo urto, quanti dopo il secondo e così via. Era una catena di montaggio in cui centinaia di donne svolgevano un piccolo pezzo ciascuna di un grande calcolo; spettava poi ai ricercatori mettere insieme e interpretare i risultati. Nelle parole di George Dyson, la costruzione della bomba fu «*numerica*, neutrone dopo neutrone, nanosecondo dopo nanosecondo... [con un metodo] di approssimazione statistica in cui un campione casuale di eventi... è analizzato tramite una serie di istantanee temporali rappresentative; in questo modo si riesce a svolgere un calcolo altrimenti intrattabile e decidere se quella precisa configurazione può far partire il processo termonucleare». ⁵

A volte la pila atomica teorica si accendeva, e i parametri corrispondenti venivano etichettati come positivi. Finito un calcolo, la brigata femminile ricominciava con altri dati. E poi ancora. E ancora. Il simbolo più noto del ruolo delle donne nello sforzo bellico è la muscolosa «Rosie the Riveter» («Rosie la Rivettatrice») che campeggiava sui manifesti di propaganda, ma il Progetto Manhattan non avrebbe portato a nulla senza il lavoro di queste macinatrici di numeri, che furono battezzate con un neologismo: *computers*, «calcolatrici».

Che cosa c'era di tanto diverso in questa strategia? In pratica ogni calcolo era equiparato a un esperimento, con il quale

si raccoglievano dati virtuali per l'innesco delle bombe al plutonio e all'uranio. Abbandonato il meticoloso e autoregolato balletto tra sperimentazione e teoria, gli scienziati abbracciarono un metodo che uno storico della scienza descrisse, senza troppe cerimonie come «dissociato... [era] una realtà simulata che prendeva a prestito aspetti sperimentali e teorici, li fondeva insieme e utilizzava l'amalgama per navigare in una terra di nessuno, che nella consueta mappa metodologica poteva stare ovunque e in nessun luogo». ⁶

Ovviamente i risultati di quei calcoli erano significativi solo in virtù della correttezza delle equazioni, e qui i ricercatori erano in una botte di ferro. A livello subatomico, le particelle sono governate da leggi di tipo statistico, cioè dalla meccanica quantistica, che per quanto bizzarra e anti-intuitiva è la teoria scientifica più precisa che si sia mai vista. La gran mole di calcoli svolti per il Progetto Manhattan diede a tutti la fiducia di essere nel giusto, e nel luglio del 1945 il test «Trinity» dimostrò che l'ottimismo era giustificato. Le rapide e precise detonazioni di una bomba all'uranio su Hiroshima e di una al plutonio su Nagasaki, poche settimane dopo, dimostrarono la potenza di questo metodo non convenzionale, tutto basato sui calcoli.

Dopo anni trascorsi in cameratesco isolamento, i protagonisti del Progetto Manhattan tornarono a casa a riflettere su ciò che avevano realizzato. Chi ne fu orgoglioso, chi molto meno. Molti erano felici di non dover più passare il tempo a far calcoli su calcoli. Qualcuno però riuscì a far fruttare anche quell'esperienza, come Stanislaw Ulam, un emigrato polacco, che nel deserto del New Mexico ammazza il tempo giocando a carte. Un giorno del 1946 era impegnato in un solitario quando gli venne l'idea di stimare la probabilità di risolverlo con una distribuzione casuale di carte. E poiché i calcoli apparentemente futili erano la sola cosa che gli piaceva più del gioco, Ulam si mise a riempire pagine e pagine di equazioni. Ben presto si accorse che il problema diventava troppo complesso e ritenne prudente lasciar perdere con i bruti calcoli: il metodo più intelligente era giocare un centinaio di partite e raccogliere i dati relativi alle vincite. Facile, no?

I nostri neuroni, e anche quelli di molti altri scienziati, probabilmente non sarebbero riusciti a collegare le cose, ma quelli di Ulam sì: a metà dell'opera si accorse che stava usando la stessa strategia di fondo inventata per gli «esperimenti» simulati a Los Alamos. (La distribuzione delle carte era l'equivalente dei dati casuali assegnati ai neutroni, e il gioco del solitario faceva le veci del calcolo). Ben presto si mise a discutere della faccenda con il suo amico John von Neumann, anche lui di origine europea, collega nel Progetto Manhattan e impallinato di calcoli. I due si resero conto che il metodo sarebbe diventato un potente strumento di ricerca se fossero riusciti a renderlo universale e applicabile a ogni situazione in cui si presentassero numerose variabili casuali. In questi casi, invece di tener conto di tutte le possibili complicazioni, di ogni battito d'ala di una farfalla, sarebbe bastato definire i dati del problema, scegliere input casuali e lasciare che qualche macchina facesse i calcoli. Non era l'esatto equivalente di un esperimento, perché i risultati non erano certi; ma con un numero sufficientemente grande di dati, la probabilità di ottenere un risultato corretto era molto alta.

Una felice coincidenza volle che Ulam e von Neumann conoscessero certi ingegneri che all'epoca stavano costruendo i primi computer americani, come l'ENIAC a Philadelphia. Le «calcolatrici» del Progetto Manhattan si erano aiutate con un sistema di schede perforate, ma le nuove macchine erano instancabili e sembravano la soluzione perfetta per eseguire la gran mole di calcoli ripetitivi prevista dal metodo di Ulam e von Neumann. La scienza delle probabilità ha le sue radici storiche nel gioco d'azzardo, praticato in esclusivi casinò, e forse per questo fu battezzato Montecarlo. Ulam però sosteneva che fosse intitolato alla memoria di un suo zio, che spesso prendeva denaro a prestito per andare «in quel noto laboratorio dove si generano numeri interi casuali (da zero a trenta-sei) in un principato sulla costa del Mediterraneo».

Sia come sia, il metodo Montecarlo conobbe un rapido successo, perché permetteva di evitare certi esperimenti. La richiesta di macchine in grado di svolgere i calcoli in modo efficiente fu una spinta alla progettazione di calco-

latori sempre più veloci; viceversa, l'arrivo sul mercato di apparati migliori e meno costosi rese il metodo applicabile in ogni dove, dalla chimica all'astronomia, dalla fisica all'ingegneria, per non parlare dell'analisi dei mercati. Oggi, a distanza di sole due generazioni, gli algoritmi Montecarlo (nelle loro varie incarnazioni) dominano interi settori di ricerca, e il loro uso è considerato così ovvio che molti scienziati non si rendono più conto di quanto sia distante dai metodi classici delle scienze teoriche o sperimentali. Quello che all'inizio sembrava un espediente, un trucco per calcolare le reazioni nucleari usando gli atomi di plutonio e uranio come palline dell'abaco, è diventato uno strumento insostituibile del progresso scientifico. Dopo aver conquistato la ricerca, si è anche accasato e imparentato con altre tecniche analoghe, dando vita a varia progenie.

Nel 1949, però, tutto questo era di là da venire. Il metodo Montecarlo all'epoca si usava soprattutto per sviluppare una nuova generazione di armi atomiche. Von Neumann, Ulam e compagnia scivolavano silenziosi in stanzoni grandi come palestre dove erano tenuti i primi calcolatori e chiedevano misteriosamente se potevano far girare un paio di programmi, in genere da mezzogiorno fino a notte fonda. Il frutto di queste lunghe ore furono le cosiddette «superbombe», cioè le bombe H, ordigni a più stadi mille volte più potenti delle prime atomiche. In queste armi, uranio e plutonio servivano per innescare una fusione di tipo quasi stellare all'interno di una massa di idrogeno pesante. Era un processo molto complicato, che non sarebbe mai uscito dalla fase di progettazione teorica e dai segreti dei complessi militari senza l'aiuto del calcolo numerico. La storia tecnologica di quegli anni è ben sintetizzata da George Dyson: «I calcolatori portarono alle bombe, le bombe ai calcolatori».

Dopo essersi imbattuti in difficoltà di ogni sorta, nel 1952 gli scienziati costruirono una superbomba funzionante. In quell'anno, la distruzione dell'atollo Eniwetok in un test mostrò al mondo l'inarrestabile potenza del metodo Mon-

tecarlo. Ma nel frattempo era già apparso all'orizzonte un ordigno ancora peggiore.

Ci sono due modi per far danni con l'atomo. Un pazzo che ha come solo scopo morte e distruzione al massimo grado può servirsi di una bomba a fissione tradizionale, a un solo stadio: è più semplice da costruire e soddisfa il bisogno d'attenzione dei mitomani più esigenti, perché esplode con un gran botto e ha effetti collaterali spettacolari, tra cui la formazione di tornado e le note ombre delle vittime sui muri. Ma se il folle è del tipo paziente e metodico, può usare un metodo più insidioso, equivalente a inquinare i pozzi e spargere sale sui campi del nemico: una bomba «sporca» al cobalto 60.

Uccide non con il calore, ma con le radiazioni, cioè con i malefici raggi gamma prodotti nei più frenetici fenomeni radioattivi. I raggi gamma non solo causano orrende ustioni, ma si insinuano nel midollo osseo e interferiscono con l'attività dei cromosomi nei globuli bianchi. Le cellule muoiono o diventano cancerose, deformi e non più in grado di combattere le infezioni. Tutte le bombe atomiche rilasciano radiazioni come sottoprodotto, ma in questo caso produrre radiazioni è lo scopo primario dell'arma.

Ma anche causare migliaia di casi di leucemia può non essere abbastanza per certi standard. Un altro emigrato dall'Europa, quel Leo Szilárd che abbiamo già incontrato come scopritore (poi pentito) della reazione a catena, nel 1950 calcolò in tutta serietà che disseminando la Terra con circa due grammi di cobalto 60 per chilometro quadrato, la radiazione gamma risultante spazzerebbe via il genere umano – nella versione nucleare della nuvola di polvere che fece estinguere i dinosauri. L'arma in grado di compiere l'impresa era una testata a più stadi circondata da uno strato di cobalto 59. La fissione del plutonio nel meccanismo di innesco dava il via alla fusione dell'idrogeno, che ovviamente distruggeva lo strato esterno. Ma a livello atomico succedeva ben altro: il cobalto assorbiva i neutroni prodotti da fissione e fusione (in gergo si parla di *salted bomb*, «bomba salata») e l'isotopo 59 si trasformava nell'instabile 60, che si diffondeva nell'atmosfera come cenere.

Molti altri elementi emettono raggi gamma, ma il cobalto

è un caso speciale. Dopo l'esplosione di una bomba atomica standard si può attendere che la situazione si calmi in un rifugio, perché la radiazione gamma si consuma subito. I territori di Hiroshima e Nagasaki erano praticamente abitabili dopo pochi giorni. Ci sono poi altri elementi che assorbono i neutroni come vecchie spugne: prima o poi ci lasciano la pelle, ma per lunghissimo tempo non hanno problemi. Quando esplosa una bomba di questo tipo, dopo il grande botto iniziale le radiazioni non arrivano a livelli tanto alti da fare danni.

Il cobalto è un diabolico caso intermedio, uno di quei rari casi in cui la virtù non sta nel mezzo. Gli atomi di cobalto 60 si adagiano al suolo come tante microscopiche mine e rilasciano radiazioni gamma, ma non esauriscono subito le cartucce, tanto che dopo cinque anni il loro potere è ancora pari alla metà di quello iniziale. Questo flusso continuo di raggi letali fa sì che di fronte a una bomba del genere non serve né scappare né aspettare pazientemente. Un terreno contaminato ritorna abitabile dopo molti anni, tanti quanti la durata della vita umana. Questa caratteristica, in realtà, rende poco plausibile il loro impiego in un vero conflitto, perché nessun esercito vittorioso potrebbe insediarsi sul territorio conquistato. Ma a un pazzo desideroso di far tabula rasa la cosa importa ben poco.

A sua discolpa, c'è da dire che Szilárd era convinto che nessuna nazione mai avrebbe costruito questa «bomba dell'apocalisse», e ufficialmente così è stato. Il suo obiettivo, anzi, era quello di mostrare la follia della guerra nucleare; direi che ci è riuscito bene. Nel *Dottor Stranamore*, ad esempio, i sovietici sono in possesso della bomba al cobalto. Prima di Szilárd, le armi atomiche erano orribili ma non necessariamente apocalittiche. Con la sua modesta proposta egli sperava che il mondo rinsavisce e rinunciassse al nucleare. Non fu così. All'epoca in cui il promezio, con il suo nome inquietante, entrava nella chimica ufficiale, l'Unione Sovietica riuscì anch'essa a produrre la bomba. A un certo punto i due contendenti accettarono la poco rassicurante dottrina MAD (*mutual assured destruction*, «distruzione reciproca assicurata»), per cui nessuno avrebbe vinto, in ogni caso, in un conflitto nucleare. Anche se sembra demente

dal punto di vista etico, la MAD è risultata efficace e ha impedito che le testate nucleari fossero usate come armi tattiche. Le tensioni internazionali si sono cristallizzate nella guerra fredda, un conflitto che ha infiltrato la società a ogni livello, tanto che neppure l'algida tavola periodica è rimasta immune dal suo tocco.

LA TAVOLA SI ALLUNGA, LA GUERRA FREDDA PURE

⁹⁷ Bk (247)	⁹⁸ Cf (251)	¹⁰¹ Md (258)	¹⁰² No (259)	¹⁰³ Lr (262)	⁹ F 18.998	²⁸ Ni 58.693	¹⁰⁶ Sg (271)	¹⁰⁵ Db (268)	¹⁰⁷ Bh (270)	¹⁰⁸ Hs (277)	¹¹⁰ Ds (281)	¹¹² Cn (285)
------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Nel 1950 una notizia insolita comparve nella rubrica di cronaca mondana Talk of the Town («Tutta la città ne parla») del «NewYorker»: ¹

È un'epoca la nostra in cui appaiono nuovi tipi di atomi con incredibile, e forse preoccupante, frequenza. I ricercatori dell'Università della California a Berkeley hanno appena scoperto gli elementi numero 97 e 98 e li hanno battezzati, rispettivamente, berkelio e californio... Una scelta che tradisce una sorprendente mancanza di lungimiranza in fatto di pubbliche relazioni... perché un giorno o l'altro questi solerti scienziati scoveranno di sicuro qualche nuovo elemento, e l'ateneo... avrà perso per sempre la possibilità di essere immortalato nella tavola periodica con una bellissima infilata: universitio (97), dello (98), californio (99), berkelio (100).

Per non essere da meno i ricercatori di Berkeley, guidati da Glenn Seaborg e Albert Ghiorso, replicarono che quella scelta era stata in realtà una geniale mossa preventiva, studiata per scongiurare «la costernante possibilità» che dopo aver chiamato gli elementi 97 e 98 «universitio» e «dello», qualche newyorkese incappasse per caso nel 99 e nel 100 e li battezzasse «newio» e «yorkio».

Al che la redazione del «NewYorker» rispose: «Stiamo la-

vorando nei nostri laboratori segreti alla sintesi di “newio” e “yorkio”. Abbiamo solo i nomi, ma è già qualcosa». Questa divertente schermaglia riflette l’atmosfera effervescente che regnava a Berkeley in quegli anni nel campo scientifico. In quell’università un gruppo di ricercatori stava creando i primi nuovi elementi del sistema solare da quando la famosa supernova aveva dato inizio alle danze miliardi di anni fa. In un certo senso, ne perfezionavano l’opera, spingendosi oltre i novantadue elementi naturali esistenti. Nessuno allora, tanto meno loro, poteva presagire quanto aspra sarebbe diventata di lì a poco la polemica sulla creazione, e persino la scelta dei nomi, di questi nuovi atomi. E che la tavola periodica sarebbe diventata un campo di battaglia della guerra fredda.

Si dice che la voce dedicata a Glenn Seaborg nel *Who’s Who* sia la più lunga di tutte. Preside a Berkeley, premio Nobel per la chimica, cofondatore della benemerita associazione sportiva Pac-10, consigliere in materia di energia atomica e di armamenti nucleari dei presidenti Kennedy, Johnson, Nixon, Carter, Reagan e Bush (padre), direttore di ricerca durante il Progetto Manhattan, eccetera, eccetera. Ma la sua prima importante scoperta scientifica, che lo proiettò ai piani alti della scienza, fu un puro colpo di fortuna.

Nel 1940 Edwin McMillan, amico e collega di Seaborg, raggiunse un traguardo ambito a cui molti aspiravano da tempo: la creazione del primo elemento transuranico, il numero 93, chiamato nettunio per analogia con il pianeta Nettuno, che si trova per l’appunto dopo Urano. Smanioso di proseguire su quella strada, McMillan ben presto si rese conto che il nettunio era parecchio instabile e che poteva trasformarsi nell’elemento 94. Si mise allora a cercare con metodo l’elemento successivo della serie, coinvolgendo a pieno titolo (con discussioni tecniche che avvenivano anche nelle docce della palestra) il giovane Seaborg, un ventottenne smilzo del Michigan che era cresciuto in una comunità di immigrati svedesi.

Ma l’anno 1940 aveva in serbo ben altro. Il governo ameri-

cano aveva deciso di aiutare, anche clandestinamente, la resistenza contro le potenze dell'Asse nella seconda guerra mondiale, e iniziò ad arruolare le principali stelle del firmamento scientifico, incluso McMillan, per farle lavorare a progetti militari, come ad esempio il radar. Seaborg, che allora non era così importante da essere tra i prescelti, si trovò da solo nel laboratorio di Berkeley con l'equipaggiamento e con il piano di lavoro preparato dal più famoso collega. In fretta e in furia, approfittando di quella che sembrava un'occasione unica per raggiungere fama e gloria, Seaborg e un collega riuscirono a creare un campione dell'elemento 94. Lo lasciarono riposare un po' (mentre emetteva radiazioni) e poi lo «setacciarono» facendo dissolvere il nettunio in eccesso, fino a rimanere con una quantità minuscola. Dimostrarono allora che i pochi atomi rimasti erano l'elemento cercato; per far ciò strapparono gli elettroni uno dopo l'altro con l'aiuto di un potente solvente fino a quando la carica elettrica divenne pari a +7, maggiore di quella di ogni altro elemento allora noto. Fin dai primi attimi di vita, il numero 94 sembrò possedere qualità speciali. Continuando il viaggio verso i limiti del sistema solare, e nella convinzione che fosse l'ultimo elemento che si potesse sintetizzare, il nuovo arrivato fu battezzato plutonio.

Diventato una star dall'oggi al domani, nel 1942 anche Seaborg fu chiamato a Chicago, dove si trovava una succursale del Progetto Manhattan. Portò con sé qualche studente e un tecnico, una specie di superassistente di nome Al Ghiorso. Ghiorso e Seaborg erano tipi diametralmente opposti. Nelle foto dell'epoca lo svedese è sempre in giacca e cravatta, anche in laboratorio, mentre l'altro è più a suo agio in cardigan e con la camicia sbottonata e le rare volte in cui indossa un abito sembra un pesce fuor d'acqua. Ghiorso portava spessi occhiali dalla montatura nera, aveva i capelli annegati nella brillantina e il naso e il mento appuntiti, un po' come Nixon. Inoltre, al contrario di Seaborg, aveva in odio l'establishment (dunque non avrebbe certo gradito il paragone con Nixon). Con un atteggiamento un po' infantile, prese solo la laurea di primo livello perché non aveva più voglia di studiare. Ma fu orgoglioso di seguire Seaborg a Chicago,

anche per sfuggire a un lavoro monotono a Berkeley, dove si limitava a installare i rilevatori di radioattività. All'arrivo nel nuovo laboratorio, fu subito messo sotto: il suo compito era... installare i rilevatori.

Ma nonostante tutto i due erano un team formidabile. Quando dopo la guerra tornarono a Berkeley (da cui non riuscivano a stare lontani) si misero a produrre nuovi elementi pesanti «con incredibile, e forse preoccupante, frequenza», per citare il «NewYorker». C'è chi ha paragonato la scoperta dei nuovi elementi nell'Ottocento alla caccia grossa, con le sostanze analoghe a esotiche prede catturate per il divertimento dei fan della chimica. Continuando con questa lusinghiera metafora, allora Ghiorso e Seaborg sono i cacciatori più tosti, quelli con le armi migliori, gli Hemingway e i Roosevelt della tavola periodica: i due detengono il record mondiale per il numero di elementi scoperti, grazie al quale la tavola è cresciuta di quasi un sesto in lunghezza.

La vera caccia si aprì nel 1946, quando Seaborg, Ghiorso e altri colleghi iniziarono a bombardare il fragile plutonio. Non usarono a tal scopo i neutroni, ma le particelle alfa, costituite da due neutroni e due protoni. Essendo dotate di carica e non neutre, si riescono ad accelerare con più facilità dei recalcitranti neutroni, perché basta adescarle con l'equivalente di un coniglio meccanico formato da una carica di segno opposto per farle schizzare via come levrieri. Inoltre, l'impatto delle particelle alfa sul plutonio aveva il pregio di generare ben due nuovi elementi, visto che il numero 96 (i 94 protoni del plutonio più due) decadeva nel numero 95 emettendo un protone.

In qualità di scopritori ufficiali, Seaborg, Ghiorso e il loro team avevano diritto a scegliere il nome dei nuovi elementi, seguendo una tradizione informale che ben presto sarebbe stata gettata alle ortiche. Scelsero il patriottico americio per il numero 95 e il curio, in onore di Marie Curie, per il 96. Rinunciando per una volta alla sua abituale formalità, Seaborg annunciò la scoperta non con un articolo su una rivista scientifica, ma durante un programma radiofonico per bambini, il Quiz Kids, di cui era ospite. Un precoce frugoletto gli chiese (per scherzo) se

per caso avesse trovato qualche nuovo elemento di recente, e lui rispose che in effetti era proprio così. Aggiunse che tutti i ragazzi in ascolto avrebbero dovuto dire ai loro professori di buttare nel cestino la vecchia tavola periodica. «A giudicare dalle lettere che ricevetti nei giorni seguenti,» scrisse Seaborg nella sua autobiografia «il corpo insegnante reagì con un certo scetticismo».

Continuando a bombardare la materia con i raggi alfa, il gruppo di Berkeley nel 1949 scoprì il berkelio e il californio di cui si è detto sopra. Fieri di aver dato lustro alla cittadina californiana, e sperando in un qualche riconoscimento ufficiale, i ricercatori si rivolsero all'ufficio del sindaco per festeggiare l'avvenimento. I funzionari li ascoltarono sbadigliando: né il sindaco né lo staff capivano che cosa ci fosse di così importante nella tavola periodica.

Ghiorso ci rimase assai male. Prima dello sgarbo del sindaco, proprio lui aveva proposto di dedicare a Berkeley l'elemento numero 97 e di attribuirgli il simbolo chimico Bm – iniziali pudiche di *bowel movement*, «transito intestinale» – perché, nelle sue parole, quello «stronzo» li aveva fatti disperare, prima di farsi scoprire. Forse era anche sollecitato all'idea che gli adolescenti americani, notoriamente amanti del genere scatologico, si sarebbero scompisciati dalle risa vedendo il nome di Berkeley immortalato nella tavola periodica in quel modo. (Sfortunatamente fu messo in minoranza e il simbolo divenne Bk).

Senza farsi troppo condizionare dalla fredda reazione delle autorità, il gruppo continuò a riempire caselle nella tavola, per la felicità dei fornitori di materiale scolastico che potevano così sostituire le vecchie versioni obsolete. Gli elementi numero 99, l'einsteinio, e 100, il fermio, furono scoperti nel 1952, studiando frammenti di corallo radioattivi, reduci dal test di una bomba all'idrogeno nel Pacifico. Ma l'apice del loro virtuosismo sperimentale fu la sintesi dell'elemento 101.

Poiché gli atomi diventano sempre più fragili man mano che si gonfiano di protoni, era difficile ottenerne in numero tale da poterli bombardare con le particelle alfa. Per ottenere einsteinio (numero 99) in quantità sufficiente per poter pensare di fare il gran salto fino all'elemento 101, fu necessario

bombardare del plutonio per tre anni di fila. E questo non era che il primo passo di un procedimento tortuoso, che faceva sembrare il laboratorio una di quelle macchine da scienziato pazzo. In ogni loro tentativo di produrre l'elemento 101, i ricercatori, prima di bombardare l'einsteinio, dovevano adagiarne una quantità microscopica su una sottilissima lamina d'oro, che poi si doveva far sparire perché la sua radioattività non interferisse con l'esperimento. Nel passato, una volta ottenuto un campione di un nuovo elemento lo si poteva tranquillamente raccogliere in una provetta e analizzare per vedere a cosa reagisse e cercare suoi parenti chimici nella tavola periodica. Ma nel caso dell'elemento 101 la quantità non era sufficiente per questa verifica, e si rese necessaria un'identificazione *post mortem* attraverso i resti del suo decadimento. Era un po' come riconoscere la marca di un'auto distrutta da una bomba a partire dai frammenti rimasti per terra.

Questa specie di autopsia era tecnicamente fattibile, se non fosse che il bombardamento con particelle alfa si poteva realizzare solo in un laboratorio e il riconoscimento in un altro, situato a qualche chilometro di distanza. Così durante ogni prova, mentre il team aspettava che l'oro si sciogliesse, Ghiorso rimaneva fuori dentro la sua Volkswagen con il motore acceso, pronto a fare da corriere e trasportare il campione nell'altro laboratorio. Il tutto avveniva a notte fonda perché la velocità era vitale: se la macchina si fosse bloccata nel traffico cittadino c'era il rischio che il materiale cominciasse a emettere radiazioni, vanificando ogni sforzo. Arrivato a destinazione, Ghiorso correva a consegnare il campione, che subiva un rapido processo di purificazione prima di essere esaminato con i rilevatori di ultima generazione installati da Ghiorso stesso. Adesso la parte tecnica del suo lavoro lo rendeva felice, perché quelle macchine erano il fiore all'occhiello del più avanzato laboratorio al mondo in cui si studiavano gli elementi pesanti.

Il gruppo perfezionò le procedure e alla fine, una notte di febbraio del 1955, poté raccogliere il premio delle sue fatiche. Ghiorso aveva collegato il rilevatore all'allarme antincendio, e quando il primo atomo dell'elemento 101 si

palesò per via indiretta, la campanella squillò. L'evento si ripeté altre sedici volte quella notte, e ogni volta era un'esplosione di urrà. All'alba tutti tornarono a casa, ubriachi di stanchezza ma felici. Ghiorso si dimenticò di staccare il collegamento e quella mattina un ultimo atomo vagante catturato dal rilevatore fece passare brutti momenti agli occupanti di quell'edificio.²

Dopo aver reso onore alla città, allo Stato della California e alla nazione, il gruppo di Berkeley propose di battezzare l'elemento 101 mendelevio, in omaggio a Dmitrij Mendeleev. Scientificamente parlando, una scelta ineccepibile. Sul piano diplomatico, invece, era un azzardo: rendere onore a uno scienziato russo in piena guerra fredda non fu una mossa apprezzata in patria (mentre pare che Chruščëv ne fosse entusiasta). Ma Seaborg, Ghiorso e colleghi volevano così dimostrare che la scienza si ergeva ben al di sopra delle miserie politiche, e non era forse quello il momento migliore? Dall'alto dei loro successi potevano permettersi un gesto magnanimo. Poco dopo, Seaborg iniziò la sua ascesa nei centri del potere e il laboratorio passò sotto la direzione di Ghiorso, che spinse le macchine al massimo: gli altri centri di ricerca nucleare al mondo non potevano far altro che guardare, limitandosi a controllare i risultati di Berkeley. L'unica volta che un gruppo concorrente affermò di aver battuto i californiani (era un team di svedesi che pensava di aver sintetizzato l'elemento 102) fu presto smentito. Nei primi anni Sessanta, Ghiorso e soci acciuffarono il 102, chiamato nobelio in onore di Alfred Nobel, e il 103, a cui fu dato il nome di laurenzio, per ricordare Ernest Lawrence, fondatore e a lungo direttore del Berkeley Radiation Laboratory.

Poi, nel 1964, accadde qualcosa di simile al lancio dello *Sputnik*.

Secondo un mito russo della creazione, molto tempo fa Dio si mise in cammino con una grande cesta di minerali per spargerli equamente su tutta la Terra, in modo che nessuna nazione potesse vantare di averli tutti. Per un po' le cose andarono per il verso giusto, e così il tantalo cadde da

una parte, l'uranio da un'altra e così via; ma quando Dio arrivò in Siberia, gli si gelarono le dita e lasciò cadere tutti i minerali rimasti. Troppo intrizzito per chinarsi a raccogliarli, li lasciò lì e se ne andò via furibondo. Ecco il perché delle nostre ricchezze naturali, concludono i russi con un certo orgoglio.

Nonostante tutta questa materia prima, solo due elementi della tavola periodica, tra l'altro abbastanza inutili, furono scoperti in Russia: il rutenio e il samario. È un misero bottino, se paragonato alle decine di successi ottenuti in Francia, Germania e Svezia. Lo stesso si può dire per la presenza di grandi scienziati: tolto Mendeleev, a paragone del resto d'Europa la lista è quasi vuota. Per vari motivi – il dispotismo zarista, un'economia rurale, un basso standard scolastico e un clima inclemente –, la Russia non era mai riuscita a esprimere le sue potenzialità scientifiche. Anche la questione del calendario è emblematica di una certa arretratezza: fino al 1918 usava ancora il calendario giuliano (proprio quello di Giulio Cesare) e non il gregoriano come il resto d'Europa. Ciò spiega perché la rivoluzione d'«ottobre» che nel 1917 portò Lenin e i bolscevichi al potere avvenne in realtà nel mese di novembre.

Se allora quella rivoluzione ebbe successo, è in parte perché Lenin aveva promesso di mettere fine all'arretratezza russa. A tal fine, il Politburo stabilì che gli scienziati avrebbero avuto un posto di prestigio, da *primi inter pares* nel nuovo paradiso dei lavoratori. E per qualche anno fu davvero così: i ricercatori poterono dedicarsi al loro lavoro senza particolari intromissioni dello Stato, che anzi li sosteneva. I frutti non tardarono a venire, con l'emergere dei primi scienziati sovietici di fama mondiale. Il finanziamento alla ricerca era anche un'abile propaganda, perché i colleghi stranieri, di fronte al fiume di denaro che in Russia veniva assicurato anche a scienziati mediocri, iniziarono a credere che almeno una potente nazione al mondo li tenesse in gran conto. Anche nell'America dei primi anni Cinquanta, in pieno maccartismo, molti ricercatori avevano una buona opinione del blocco sovietico e del suo supporto materiale a favore del progresso scientifico.

A complicare le cose c'erano gruppi ultraconservatori

come la John Birch Society, fondata nel 1958, che vedeva complotti ovunque. A un certo punto si mise a contestare la pratica di aggiungere fluoro all'acqua potabile per prevenire le carie. Questa politica, paragonabile alla diffusione di sale iodato, è poco costosa e assai efficace; per la prima volta nella storia, ha permesso a una consistente fetta della popolazione di conservare i propri denti fino alla morte. Per la Birch Society, invece, era una mossa subdola che aveva a che fare con l'educazione sessuale ed altri spregevoli «complotti comunisti» volti a controllare la mente degli americani. Nella loro testa, questo provava un collegamento diretto tra gli enti locali, gli insegnanti di scienze e il Cremlino. Il mondo accademico statunitense, quasi in blocco, aveva orrore di questo atteggiamento apocalittico e antiscientifico. A paragone, la retorica sovietica del progresso doveva sembrare un toccasana.

Sotto la facciata positivista, però, si era diffuso un cancro letale. Stalin, che nel 1929 aveva preso le redini del comando, aveva idee molto particolari sulla scienza: in modo del tutto arbitrario, nonché insensato e pericoloso, la divideva in «borghese» e «proletaria», ed era intenzionato a bloccare chiunque praticasse la prima. Un esempio di questo atteggiamento fu il caso Lysenko. Trofim Denisovic Lysenko, lo «scienziato scalzo», figlio di un contadino, dominò a lungo l'agronomia sovietica. Stalin si era innamorato delle sue idee, perché questi rigettava l'ipotesi reazionaria secondo cui gli organismi viventi, piante coltivate incluse, ereditano geni e caratteristiche dai genitori. Da vero marxista, sosteneva che solo l'ambiente sociale fosse importante (persino per le piante); e in particolare, il milieu sovietico era superiore a quello dei porci capitalisti. Finché gli fu possibile, Lysenko rese di fatto illegale lo studio della biologia su basi genetiche, facendo arrestare e anche condannare a morte i dissidenti. Non stupisce che le sue teorie non portarono all'auspicato aumento della produttività agricola: milioni di contadini che lavoravano nei collettivi furono obbligati ad adottare le nuove pratiche e fecero la fame. Ci furono terribili carestie. Un eminente genetista britannico commentò così la vicenda: «[Lysenko] ignorava anche le più semplici nozioni di genetica e fisiologia vegeta-

le... Discutere con lui era come cercare di spiegare il calcolo differenziale a un uomo che non sapeva le tabelline».

Stalin, oltretutto, non si faceva scrupoli ad arrestare gli scienziati per costringerli a lavorare come schiavi nei gulag. Molti di loro furono spediti nel famigerato centro di estrazione e lavorazione del nichel di Noril'sk, città della Siberia dove d'inverno si scende tranquillamente a -50°C . Era un luogo infernale, che puzzava perennemente di zolfo a causa dei composti solforici utilizzati nella purificazione del nichel. I prigionieri erano costretti a lavorare duramente all'estrazione di metalli tra i più tossici della tavola periodica, tra cui arsenico, piombo e cadmio. L'inquinamento era (ed è) terribile. Il cielo assumeva strani colori, e a seconda del metallo in lavorazione poteva cadere neve rosa o blu. (Quando si estraevano più elementi insieme la neve era – e a volte è ancora – nera). Una caratteristica inquietante del luogo è che pare che nessun albero cresca nel raggio di quaranta chilometri dagli impianti metallurgici dove si tratta il velenoso nichel.³ Secondo una battuta che circola in zona, tipica dell'umorismo nero dei russi, i barboni di Noril'sk non mendicano denaro ma raccolgono la pioggia, la fanno evaporare e vendono il metallo che ne ricavano. Non è uno scherzo, però, il fatto che una generazione di scienziati sovietici fu in gran parte sacrificata sull'altare del nichel e di altri elementi necessari all'industria nazionale.

Stalin era un realista tutto d'un pezzo e non si fidava di scienze strane e anti-intuitive come la meccanica quantistica o la relatività. Ancora nel 1949, accarezzava seriamente l'ipotesi di purgare l'accademia da quei fisici borghesi che credevano a queste teorie, contro il dettato dell'ideologia comunista. Si fermò solo quando un suo coraggioso collaboratore gli fece notare che tale mossa avrebbe un tantino rallentato il programma nucleare sovietico. C'è anche da dire che il processo alla fisica non era in cima alle preoccupazioni di Stalin, a differenza della «pulizia» in altri settori della scienza. Dato che la fisica era indispensabile per lo sviluppo di nuove armi – la passione del dittatore – e non prendeva posizione in merito alle questioni sulla natura umana – chiodo fisso dei marxisti –, i fisici sotto Stalin scam-

parono ai peggiori trattamenti riservati a biologi, psicologi ed economisti. «Lasciateli in pace» pare che dicesse Stalin. «Possiamo sempre fucilarli dopo».

C'è ancora un altro fattore che rinforzò la relativa tranquillità delle scienze fisiche. Stalin chiedeva fedeltà assoluta, e il capo del programma nucleare sovietico, Georgij Nikolaevic Flërov, la assicurava al massimo grado. Nella fotografia più nota che lo ritrae, Flërov sembra uscito da un numero di cabaret: ghignante, pelato, grassottello, sopracciglia folte e un'orribile cravatta a righe. Manca solo un garofano di plastica all'occhiello da cui spruzzare acqua per scherzo.

Quell'aspetto da zio eccentrico nascondeva un abile stratega. Nel 1942 Flërov si era accorto che, nonostante i notevoli progressi compiuti da americani e tedeschi nel campo della fissione nucleare, sulle riviste scientifiche da tempo non venivano pubblicati nuovi articoli in materia. Ne dedusse che le ricerche sulla fissione erano coperte dal segreto di Stato, il che poteva significare una cosa sola. Scrisse allora a Stalin per informarlo dei suoi sospetti, con una lettera analoga a quella celebre di Einstein a Roosevelt che diede il via al Progetto Manhattan. Il dittatore, notoriamente paranoico, cominciò a precettare decine di fisici e li mise al lavoro sul progetto dell'atomica sovietica. «Baffone» avrebbe riservato a Flërov ben altro trattamento, come premio per la sua lealtà.

Con il senno di poi, noti gli orrori dello stalinismo, è facile dare addosso a Flërov e accomunarlo a Lysenko. Se non avesse scritto quella lettera, forse Stalin avrebbe appreso del programma nucleare americano solo nell'agosto 1945, come il resto del mondo. Il suo atteggiamento è anche emblematico di una caratteristica nazionale che ha contribuito in passato all'arretratezza scientifica della Russia: una diffusa cultura della piaggeria e dell'adulazione – letale per il mondo della ricerca. (Nel 1878, all'epoca di Mendeleev, un geologo russo propose di battezzare «samarskite» il minerale in cui fu scoperto il samario in onore di un certo colonnello Samarskij, un oscuro burocrate del servizio minerario che è sicuramente il meno degno tra tutti gli eponimi della tavola periodica).

Il caso di Flërov però non è così semplice. Nel 1942 aveva ventinove anni e aveva visto numerose vite annientate: nella famosa purga dell'Accademia delle Scienze, 650 scienziati furono epurati e molti di loro giustiziati per alto tradimento, con l'accusa di aver «ostacolato il progresso». Per un giovane ambizioso e di talento, cui era preclusa ogni via di fuga, l'unica speranza di andare avanti era destreggiarsi in politica. Con la famosa lettera, in effetti, raggiunse il suo scopo. E la lettera portò i frutti sperati. Stalin e i suoi successori furono così soddisfatti dallo scoppio della prima bomba atomica sovietica nel 1949, che otto anni più tardi regalarono al compagno Flërov un laboratorio tutto per lui. Era un complesso isolato nella cittadina di Dubna, a un centinaio di chilometri da Mosca, dove avrebbe potuto lavorare senza intromissioni da parte dei politici. Per il giovane fisico appiattirsi sulle posizioni del regime fu forse moralmente riprovevole, ma comprensibile.

A Dubna, Flërov si concentrò astutamente sulla «scienza difficile» – argomenti prestigiosi, ma esoterici, troppo astrusi per i non esperti, che difficilmente avrebbero fatto saltare la mosca al naso a qualche ottuso burocrate. Negli anni Sessanta, grazie al gruppo di Berkeley, la ricerca di nuovi elementi era diventata un'impresa ben diversa da ciò che era stata per secoli: un lavoro sporco di scavo e setacciatura di strane rocce si era trasformato in una sofisticata ricerca di entità che esistevano solo sulla carta, dati stampati da computer collegati a rilevatori di radioattività (o ad allarmi antincendio). Non si usavano più nemmeno le particelle alfa, perché i nuovi elementi pesanti non erano stabili abbastanza a lungo per essere buoni bersagli.

La nuova strategia consisteva nel cercare di fondere insieme gli elementi. Apparentemente si trattava di un semplice problema aritmetico. Il numero 102, per esempio, si poteva teoricamente ottenere facendo collidere magnesio (numero atomico 12) e torio (90), oppure vanadio (23) e oro (79). Poche di queste combinazioni virtuali funzionavano, quindi i ricercatori dovevano spendere un sacco di tempo a fare calcoli per determinare in modo più preciso su quali materiali valesse la pena investire. Flërov e colleghi si misero a studiare con impegno i metodi di Berkeley, che

replicarono; fu anche grazie a lui che l'Unione Sovietica negli anni Cinquanta si scrollò di dosso la reputazione di Paese scientificamente arretrato. Seaborg, Ghiorso e colleghi arrivarono per primi agli elementi 101, 102 e 103. Ma nel 1964, sette anni dopo il lancio dello *Sputnik*, il gruppo di Dubna annunciò al mondo di aver creato il 104.

Nella patria del berkelio e del californio, allo sgomento seguì presto la rabbia. Feriti nell'orgoglio, i ricercatori americani controllarono i dati dei sovietici e, cosa poco sorprendente, li giudicarono prematuri e non abbastanza solidi. Si misero poi al lavoro e, sotto la guida di Ghiorso e la consulenza esterna di Seaborg, ottennero l'elemento 104 nel 1969. Ma nel frattempo quelli di Dubna avevano creato il 105. Per la seconda volta, Berkeley era all'affannosa rincorsa dei rivali, a cui contestava l'interpretazione dei dati – l'equivalente accademico del lancio di una molotov. I due gruppi raggiunsero insieme l'elemento 106 a distanza di pochi mesi nel 1974. Lo spirito di fratellanza che aveva ispirato il mendelevio era ormai del tutto dimenticato.

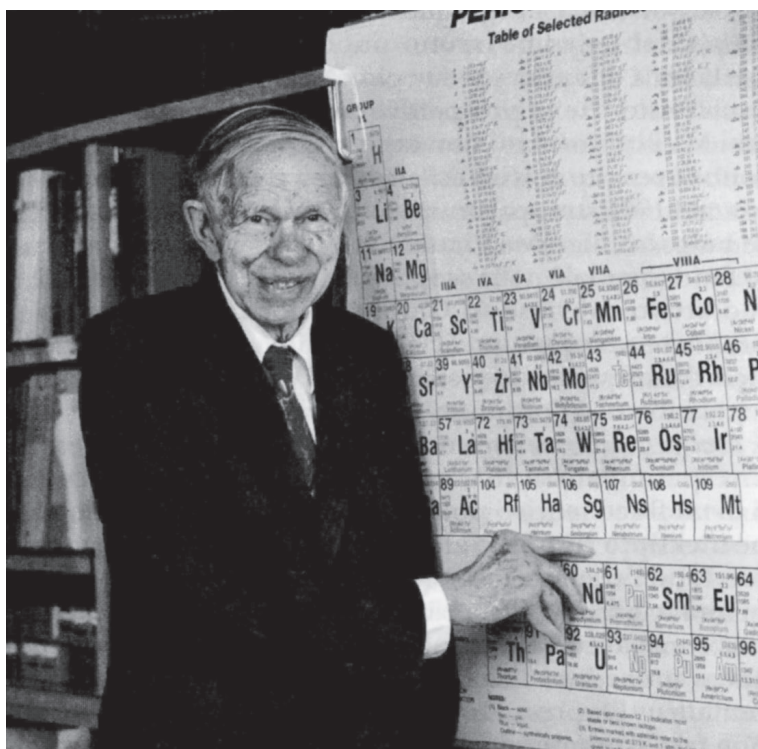
Per dare forza alle pretese di aver scoperto per primi un elemento, i contendenti avanzavano subito ipotesi per i nomi. Le varie liste di proposte sono noiose e non vale la pena esaminarle tutte; è interessante notare, però, che in risposta al berkelio i sovietici tirarono fuori il dubnio. Gli americani da parte loro proposero lo hahnio per il 105, in onore di Otto Hahn, e il seaborgio per il 106, su insistenza di Ghiorso. Seaborg era ancora in vita, e onorare un vivente con un elemento chimico non era teoricamente proibito, ma fu considerato un gesto goffo, da americani arroganti. I nuovi nomi iniziarono ad apparire in varie forme nelle riviste scientifiche, e chi doveva aggiornare la tavola periodica non sapeva più che pesci pigliare.

Incredibile ma vero, la disputa si protrasse fino ad anni Novanta inoltrati. Nel frattempo, per complicare ancora le cose, il gruppo tedesco di Darmstadt, superando di slancio i litigiosi americani e sovietici, aveva iniziato a scoprire elementi per conto suo. Alla fine dovette intervenire come mediatore lo IUPAC (International Union of Pure and Applied

Chemistry), organizzazione che è una specie di governo mondiale della chimica.

Fu costituita una task force di nove specialisti, che ispezionarono i laboratori coinvolti per settimane, cercando di andare oltre i sospetti e le insinuazioni e di raccogliere solo le fonti primarie. Dopo altre lunghe settimane di arbitrati in tribunale, i nove annunciarono pubblicamente che i due fronti della guerra fredda dovevano dividersi da bravi il merito per la scoperta degli elementi dal 104 al 106. Era un giudizio salomonico che scontentò un po' tutti. Il nome deve essere univoco, e il vero obiettivo era mettere la propria firma su una casella della tavola periodica.

Nel 1994 i nove saggi dello IUPAC avanzarono una proposta ufficiale per la nomenclatura degli elementi dal 104 al 109. Era un compromesso che trovava d'accordo Dubna e Darmstadt ma che fece andare su tutte le furie Berkeley, perché il seaborgio non compariva nella lista. Fu convocata una conferenza stampa, nella quale gli americani dissero in soldoni che tutto il mondo poteva andare a quel paese e che loro avrebbero continuato a usare il nome di loro gradimento. Lo stesso affermò una autorevole associazione nazionale, che per inciso pubblica alcune prestigiose riviste su cui molti chimici del pianeta vorrebbero veder stampato il proprio nome. Tutto ciò alterava gli equilibri diplomatici, e i nove saggi si ritirarono a deliberare di nuovo. Quando nel 1996 lo IUPAC pubblicò la lista definitiva, che doveva essere accettata da tutti senza possibilità di discussione, il seaborgio era tornato al suo posto al numero 106. Oggi sulla tavola vediamo dunque il rutherfordio (numero 104), il dubnio (105), il bohrio (107), lo hassio (108) e il meitnerio (109). Dopo questa vittoria, rimediando alla «mancanza di lungimiranza in fatto di pubbliche relazioni» lamentata mezzo secolo prima dal «New Yorker», il gruppo di Berkeley mandò in giro una foto che ritraeva Glenn Seaborg, segnato dall'età, accanto a una tavola periodica gigante, con l'indice deformato dall'artrosi appoggiato nelle vicinanze del seaborgio. Il grande chimico sorride e sembra voler dimenticare una disputa nata trentadue anni prima e trascinatasi con vigore anche dopo la fine della guerra fredda. Seaborg morì tre anni dopo, nel 1999.



Dopo decenni di liti con i rivali sovietici (e poi tedeschi), un malconcio ma felice Glenn Seaborg indica l'elemento numero 106, il seaborgio, che porta il suo nome. È l'unico caso in cui questo onore fu concesso a una personalità vivente (per gentile concessione del Lawrence Berkeley National Laboratory).

Ma una storia come questa non può certo finire così. Negli anni Novanta la ricerca chimica a Berkeley era in fase di stanca e non teneva più il passo dei rivali ex sovietici e, soprattutto, tedeschi. In notevole e rapida progressione, tra il 1994 e il 1996 Darmstadt sfornò tre nuovi elementi: il numero 110, chiamato darmstadtio (Ds) con evidente riferimento alla città, il 111, battezzato roentgenio (Rg) in onore del grande fisico tedesco Wilhelm Röntgen, e il 112, il copernicio (Cn), a ricordare Copernico; questo è a oggi l'ultimo elemento aggiunto ufficialmente dallo IUPAC alla tavola

periodica, nel giugno 2009.⁴ Non c'è dubbio che i risultati dei tedeschi furono uno dei fattori che spinsero Berkeley a difendere le sue glorie del passato con tanta tenacia, visto che le prospettive per il futuro non erano rosee. Ma i californiani non accettavano la sconfitta e cercarono di reagire con un colpo di scena: per rilanciare il centro, nel 1996 strapparono ai tedeschi un giovane ricercatore bulgaro chiamato Victor Ninov, che aveva avuto un ruolo fondamentale nella scoperta degli elementi 110 e 112. Il suo arrivo convinse Al Ghiorso, allora in pensione, a riprendere a frequentare il laboratorio («Questo ragazzo mi ricorda me stesso da giovane» andava dicendo). A Berkeley era tornato l'ottimismo.

Per la grande *rentrée*, nel 1999 il gruppo di Ninov eseguì un esperimento su cui c'erano forti dubbi, basato sui calcoli di un fisico teorico polacco che sosteneva che la collisione tra kripto (numero atomico 36) e piombo (82) avrebbe prodotto l'elemento 118. Molti colleghi pensavano che fosse una sciocchezza, ma Ninov, deciso a conquistare l'America come aveva fatto con la Germania, fece pressioni perché si procedesse. La creazione di nuovi elementi era diventata un'impresa lunga e assai costosa, su cui era meglio non fare scommesse rischiose, ma in questo caso l'azzardo fu ripagato e il 118 saltò fuori. «Victor deve avere una linea diretta con Dio» scherzavano i colleghi. Come ulteriore bonus, il 118 decadeva immediatamente emettendo una particella alfa e trasformandosi nel 116, che nessuno aveva ancora creato. Due piccioni con una fava! Già circolavano indiscrezioni sul fatto che il nome proposto dal gruppo di Berkeley per il 118 sarebbe stato «ghiorsio».

Ma c'è un ma. I laboratori in Russia e Germania si misero subito a verificare i risultati di Ninov, ma non trovarono traccia dell'elemento 118: la collisione, per loro, produceva solo altro kripto e altro piombo. Non fidandosi, Berkeley incaricò una parte del team di ripetere a sua volta l'esperimento. E anche loro non trovarono nulla, pur lavorando per mesi. A questo punto intervenne la direzione dell'università, che si mise a scartabellare tra i dati originali di Ninov. Ciò che trovarono fu a dir poco scioccante: non c'era nulla. Non esisteva nessuna prova dell'esistenza del 118

tranne nell'ultima serie di test, in cui un risultato positivo si materializzava all'improvviso emergendo dal precedente caos di 0 e 1. Tutto faceva supporre che Ninov, che aveva personalmente controllato i rilevatori e il relativo software, avesse barato inventandosi dati falsi e spacciandoli per veri. Nella ricerca dei limiti della tavola periodica, questo era un pericolo di cui nessuno aveva ancora tenuto conto: quando gli elementi esistono solo nei calcolatori, un individuo può ingannare mezzo mondo manipolando i programmi.

Mortificati, i ricercatori di Berkeley ritrattarono. Ninov venne licenziato e il laboratorio fu soggetto a pesanti tagli di personale e finanziamenti. Ancora oggi lo scienziato bulgaro respinge le accuse, anche se a suo sfavore gioca il fatto che a Darmstadt, dopo questa débâcle, si misero a ricontrollare tutti i suoi vecchi dati sperimentali e trovarono altre magagne; alcune delle sue precedenti scoperte (non tutte) sono state ritrattate. Dopo questa vicenda, come umiliazione finale, gli scienziati statunitensi che volevano lavorare sugli elementi pesanti furono costretti ad andare a Dubna. Lì, nel 2006, un gruppo misto russo-americano riuscì a produrre ben tre atomi dell'elemento 118, ottenuti bombardando un campione di californio (che ironia) con dieci miliardi di miliardi di atomi di calcio. Com'era prevedibile, anche la creazione dell'elemento 118 è stata contestata. Ma se verrà confermata – e non c'è ragione di credere il contrario – questa scoperta toglierà al «ghiorsio» ogni possibilità di comparire sulla tavola periodica. Visto che è avvenuta a casa loro, i russi hanno il diritto a proporre un nome, e sembra che si siano orientati su «flerovio».⁵

PARTE TERZA

CONFUSIONE PERIODICA:
EMERGE LA COMPLESSITÀ

⁴³ Tc 98.906	⁹³ Np (237)	¹⁵ P 30.974
-------------------------------	------------------------------	------------------------------

Glenn Seaborg e Al Ghiorso portarono la caccia ai nuovi elementi su nuovi livelli, ma non furono certo i soli a colmare le lacune nella tavola periodica. Quando il «Time» assegnò collettivamente il titolo di «uomo dell'anno» per il 1960 a quindici scienziati americani, non mise nella foto di copertina i nostri due eroi, ma il più grande creatore di atomi della generazione precedente, un uomo che era riuscito ad acciuffare il più sfuggente degli elementi quando Seaborg era ancora all'università: Emilio Segrè.

La copertina in questione ha un aspetto vagamente futuristico: al centro c'è un piccolo nucleo rosso sfocato, circondato da una nuvola di quindici elettroni su ognuno dei quali si trova la foto di uno scienziato. Sono tutti immortalati in quella posa rigida e vagamente sussiegosa che si trova abitualmente negli annuari scolastici. Tra di loro vi sono genetisti, astronomi, pionieri degli studi sui laser e sul cancro; c'è anche William Shockley, il permaloso esperto di transistor nonché futuro sostenitore dell'eugenetica (che non si trattenne dall'infilare le sue idee in fatto di razza anche nell'intervista contenuta in quel numero).¹ Nonostante l'insieme avesse un aspetto un po' amatoriale, i protagonisti erano di primissimo piano. La scelta del «Time» voleva sottolineare l'assoluta quanto recente preminenza della

scienza americana nel panorama internazionale. Nei primi quarantanni della sua esistenza, fino al 1940, il premio Nobel era toccato quindici volte a scienziati statunitensi; nei successivi vent'anni, i premiati erano stati quarantadue.

La storia di Emilio Segrè, ebreo immigrato dall'Italia, mostrava quanto fosse stato importante per la scienza americana l'arrivo degli europei in fuga dalla guerra. All'epoca Segrè aveva cinquantacinque anni ed era uno dei più vecchi del gruppo; la sua foto appare in alto a sinistra, mentre in basso si trova quella di uno scienziato ancora meno giovane, il cinquantanovenne Linus Pauling. Questi due uomini sono stati tra i massimi responsabili della trasformazione della tavola periodica; non erano amici intimi, ma intrattenevano conversazioni epistolari su vari argomenti di comune interesse. Nella loro corrispondenza si può leggere, per esempio, di Segrè che chiede consigli all'altro su certi esperimenti con il berillio radioattivo, o di Pauling che discute del nome provvisorio da attribuire all'elemento 87 (il francio), per far sì che la voce «tavola periodica» sull'*Encyclopaedia Britannica*, scritta da lui, fosse aggiornata.

Non furono mai colleghi nella stessa istituzione, anche se avrebbero tranquillamente potuto, e forse dovuto, esserlo. Nel 1922 Pauling, giovane chimico dell'Oregon fresco di laurea, scrisse a Gilbert Lewis (lo scienziato a cui non davano mai il Nobel, che abbiamo già incontrato) per indagare sulla possibilità di proseguire gli studi presso il suo laboratorio all'Università della California a Berkeley. Stranamente Lewis non si prese la briga di rispondere, e così Pauling entrò al California Institute of Technology (Caltech), istituzione di cui sarebbe diventato la star, come studente e docente, fino al 1981. Pare che la lettera sia andata persa; se Lewis l'avesse letta, di sicuro avrebbe accettato Pauling, e vista l'abitudine di Berkeley di offrire un posto agli studenti migliori, l'università avrebbe stretto con il giovane chimico un patto per la vita.

Se le cose fossero andate così, qualche anno più tardi Pauling sarebbe stato raggiunto da Segrè. Nel 1938, anno in cui Mussolini per compiacere Hitler mise in atto le famigerate leggi razziali, il fisico italiano si aggiunse alla schiera dei tanti intellettuali ebrei che scapparono dal regime fascista. Come

se non bastasse, il suo approdo a Berkeley fu frutto di una umiliante trattativa. All'epoca del suo licenziamento per motivi razziali, Segrè era già in America per un anno sabbatico al prestigioso Berkeley Radiation Laboratory, appena meno celebre del centro di ricerche chimiche presso la stessa sede. Trovatosi dall'oggi al domani senza lavoro e senza prospettive per il futuro, scongiurò il direttore del «Rad Lab» di trovargli un posto. Questi accettò, ma gli offrì una paga molto bassa: aveva dedotto correttamente che Segrè, privo di scelta, avrebbe accettato ogni tipo di proposta. Dunque al posto dei normali 300 dollari al mese, che all'epoca erano una bella cifra, gliene concesse 116. L'italiano chinò il capo e accettò. Mentre iniziava le pratiche per farsi raggiungere dai famigliari, si chiedeva come li avrebbe mantenuti.

Ma le difficoltà furono superate e negli anni che seguirono Segrè e (soprattutto) Pauling divennero figure leggendarie nei rispettivi campi. Oggi sono probabilmente i due scienziati più importanti tra quelli non molto noti al grande pubblico. Ma i loro nomi sono legati indissolubilmente anche da un fatto in gran parte dimenticato, che il «Time» si guarda bene dall'accennare: durante la loro carriera commisero due errori colossali, tra i peggiori nella storia della scienza.

Sappiamo che sbagliare non sempre porta a conseguenze disastrose. La gomma vulcanizzata, la penicillina e il teflon sono tutte scoperte figlie di errori. Camillo Golgi inventò la colorazione all'osmio, importante tecnica per lo studio dei neuroni, rovesciando per sbaglio un po' di quella sostanza su un campione di tessuto cerebrale. Anche una panzana colossale si può rivelare utile: nel XV secolo l'affermazione di Paracelso secondo cui gli elementi fondamentali dell'universo erano mercurio, sale e zolfo contribuì a spostare gli interessi degli alchimisti, placando l'ossessione per l'oro e portando sulla strada della vera analisi chimica. Ritrovamenti casuali ed errori accidentali hanno spinto in avanti la scienza per tutto il corso della storia.

Gli errori commessi da Pauling e Segrè, però, non erano di questo tipo, ma gaffe colossali ed evidenti, di quelle che non si vorrebbe proprio far sapere in giro. A loro difesa,

c'è da dire che i due scienziati erano coinvolti in imprese enormemente complicate, le quali partendo dalle proprietà chimiche degli atomi si prefiggevano l'assai più alto obiettivo di spiegare il comportamento dei sistemi più complessi. Ma forse ai due, per evitare la figuraccia, sarebbe bastato guardare con maggior attenzione quella tavola periodica che loro stessi avevano contribuito a riscrivere.

A proposito di errori, c'è un elemento che è stato «scoperto per la prima volta» in varie occasioni: è il numero 43, l'equivalente chimico del mostro di Loch Ness.

Nel 1828 un chimico tedesco annunciò pubblicamente di aver scoperto due nuovi elementi, il «polinio» e il «pluranio» e che uno dei due doveva essere il 43. Ma alla fine risultò che erano due minerali di iridio. Nel 1846 un altro tedesco disse di aver ottenuto l'«ilmenio», ma in realtà era niobio. L'anno dopo fu la volta del «pelopio», niobio anche lui. E così via. Una buona notizia per i cacciatori dell'elemento 43 arrivò nel 1869 con la pubblicazione della tavola di Mendeleev, che in effetti presentava un promettente buco tra il 42 e il 44. Ma la buona scienza, com'era appunto la tavola periodica, a volte incoraggia anche il lavoro dei ciarlatani, convinti di aver trovato ciò che tutti cercano. Sette anni dopo, manco a farlo apposta, un altro russo si convinse di aver colmato la lacuna con il «davio», che pesava una volta e mezzo quanto pronosticato e che si rivelò essere un minerale composto da tre elementi. Il secolo dei falsi allarmi si concluse nel 1896 con la presunta scoperta del «lucio», che era in realtà ittrio.

Il Novecento sembrò peggiorare le cose. Nel 1909 Masataka Ogawa annunciò di aver ottenuto il «nipponio», da lui battezzato in onore della madrepatria. Mentre tutti i casi precedenti si dimostrarono essere campioni impuri o minerali di elementi già noti, Ogawa era davvero riuscito a scoprire qualcosa di nuovo: solo non era il numero 43. Preso dall'ansia di colmare quella lacuna nella tavola periodica, non ne aveva considerate altre; i suoi colleghi non riuscirono a confermare la scoperta e il giapponese fu costretto a ritrattare con grande vergogna. Nel 2004 un suo compa-

triota ha rimesso mano ai dati originali e ha capito che Ogawa aveva isolato senza accorgersene l'elemento 75, il renio, allora ugualmente ignoto. Chissà se Ogawa sarebbe stato felice di apprenderlo o se la cosa avrebbe accresciuto la sua amarezza – certo dipende da come vogliamo considerare il proverbiale bicchiere, mezzo vuoto o mezzo pieno.

La scoperta consapevole e corretta dell'elemento 75 risale al 1925, a opera di altri tre tedeschi: Otto Berg, Walter Noddack e Ida Tacke Noddack, questi ultimi marito e moglie. Lo battezzarono renio, per ricordare il fiume Reno. Nella stessa occasione, il gruppo annunciò di aver trovato anche il 43, per cui proposero il nome di «masurio», dalla Masuria, una regione prussiana oggi in Polonia. Visto che il nazionalismo aveva incendiato e distrutto l'Europa solo dieci anni prima, la comunità scientifica internazionale non fu contenta di queste scelte così ostentatamente teutoniche – tra l'altro sul Reno e in Masuria si erano combattute battaglie della prima guerra mondiale, che avevano visto i tedeschi vittoriosi. L'intero continente si mise d'impegno per cercare di screditare i tre. I dati relativi al renio sembravano inattaccabili, così ci si concentrò sul più problematico masurio. Anche se oggi alcuni specialisti sostengono che il gruppo tedesco avesse davvero trovato l'elemento numero 43, il loro articolo originale conteneva errori e facilonerie (per esempio, la quantità prodotta era sovrastimata per un fattore tre). La comunità scientifica alla fine, resa ancora più scettica dalle varie presunte scoperte del passato, dichiarò che i risultati dei tre non erano validi.

Il 43 fu isolato solo nel 1937 da parte di due italiani, Emilio Segrè e Carlo Perrier, grazie alle nuove ricerche nel campo della fisica nucleare. Questo elemento è così difficile da scoprire perché è sparito quasi del tutto dalla crosta terrestre: infatti è radioattivo e decade diventando molibdeno, l'elemento numero 42. Noto questo fatto, i due italiani non si misero a setacciare ciecamente tonnellate di minerale alla ricerca di qualche milligrammo di sostanza (come Berg e i Noddack), ma si fecero aiutare da un ignaro collega americano.

Qualche anno prima, Ernest Lawrence (secondo cui la pretesa dei tre tedeschi di aver scoperto il 43 era «pura il-

lusione») aveva inventato il ciclotrone, un acceleratore di particelle in grado di produrre, tra l'altro, nuclei radioattivi. Lawrence era più interessato a creare nuovi isotopi di elementi noti che a scovare elementi ignoti. Il caso volle, però, che Segrè visitasse il laboratorio del collega nel 1937, durante un viaggio in America. Quando scoprì che nel ciclotrone c'erano parti meccaniche fatte di molibdeno, che andavano periodicamente sostituite, gli si accese la classica lampadina in testa. Con fare un po' misterioso, chiese se fosse possibile esaminare quelle scorie e magari averne un campione; qualche settimana dopo, Lawrence mise dei pezzi di molibdeno in una busta e senza troppi problemi li spedì per posta aerea al collega, nel frattempo tornato in Italia. L'intuizione di Segrè si dimostrò corretta: con l'aiuto di Perrier, trovò su quei campioni tracce dell'elemento 43. La più frustrante lacuna nella tavola periodica era stata finalmente colmata.

Ovviamente il gruppo tedesco non abbandonò le speranze di averla vinta con il masurio. Walter Noddack arrivò a litigare con Segrè nel suo studio, presentandosi pure vestito con una sorta di minacciosa uniforme vagamente militare, coperta di svastiche. Non era certo il modo per accattivarsi il mite fisico italiano, che tra l'altro era soggetto a pressioni politiche di senso opposto. La scoperta era avvenuta all'Università di Palermo, dunque le autorità spingevano perché il nuovo elemento fosse battezzato «panormio» in onore della città (che è Panormus in latino). Forse perché resi cauti dalla pessima figura rimediata dai padrini del masurio, Segrè e Perrier optarono invece per «tecnezio», latinizzando il termine greco che significa «artificiale». Era una scelta forse banale ma appropriata, perché quello era davvero il primo elemento creato in laboratorio dall'uomo. Ma di sicuro non contribuì alla posizione politica di Segrè, che nel 1938 ritenne prudente partire per Berkeley, per trascorrere un anno sabbatico nel laboratorio di Lawrence.

Non ci sono prove del fatto che ce l'avesse con il collega italiano per il trucchetto del molibdeno, ma fu comunque Lawrence, più tardi, a proporre la sua scandalosa riduzione di paga. Ne era addirittura fiero, e senza rendersi conto che

stava urtando la sensibilità di Segrè andava in giro a dire che grazie a lui risparmiava ben 184 dollari al mese, da reinvestire nella sua preziosa strumentazione. Testuali parole. Era un'ulteriore prova del fatto che l'americano, pur abile come procacciatore di fondi e organizzatore di ricerca, era incapace di trattare con la gente. Spesso accadeva che un giovane e brillante scienziato da lui assunto se ne andasse dopo poco tempo, stufo della sua gestione dittatoriale. Un suo amico e sostenitore come Glenn Seaborg disse che il suo famoso e invidiato «Rad Lab» avrebbe dovuto battere gli europei nella corsa alla radioattività artificiale e alla fissione nucleare, le due scoperte più importanti dell'epoca. Non esserci riusciti era stato, secondo lui, «uno scandaloso fallimento».

Sotto quest'ultimo punto di vista, però, forse Segrè avrebbe solidarizzato con Lawrence. Era stato infatti uno dei discepoli più in vista del leggendario Enrico Fermi, e faceva parte del team dei «ragazzi di via Panisperna» che nel 1934 annunciò al mondo (sbagliando, come si sarebbe scoperto in seguito) di aver scoperto l'elemento 93 e altri elementi transuranici, ottenuti bombardando con neutroni dei campioni di uranio. Fermi era considerato uomo di intelligenza straordinaria, ma in questo caso fu mal consigliato dalla fretta. Non si accorse, infatti, di aver ottenuto qualcosa di assai più importante: la prima fissione nucleare. Nel 1939 due scienziati tedeschi contestarono questi risultati, con grande scandalo – dopo tutto Fermi aveva ottenuto il premio Nobel per la sua scoperta. Segrè era particolarmente amareggiato, perché l'analisi e l'identificazione dei presunti nuovi elementi erano avvenuti sotto la sua guida. Si ricordò allora di aver letto nel 1934 un articolo che parlava della possibilità della fissione, articolo che aveva liquidato come mal pensato e mal scritto. Per ironia della storia, l'autrice di quel lavoro era proprio Ida Noddack.²

Segrè, che in seguito divenne un noto storico della scienza (nonché celebre cercatore di funghi), tornò sulla questione con grande lucidità in due suoi libri. In uno di questi si legge: «La possibilità della scissione del nucleo di uranio ci sfuggì nonostante ci fosse stata segnalata da Ida Noddack... che ci inviò un estratto di un suo articolo in cui indicava

chiaramente la possibilità di interpretare taluni dei nostri risultati come conseguenza della scissione dell'uranio... La ragione della nostra cecità non è chiara nemmeno oggi».³ (Curiosità storica: le due persone che si avvicinarono più di tutte alla scoperta della fissione – Ida Noddack e Irene Joliot-Curie, figlia di Marie Curie – e quella che la scoprì per davvero – Lise Meitner – erano tutte donne).

Purtroppo, la storia portò Segrè a coltivare un eccessivo scetticismo riguardo agli elementi transuranici, il che lo rese ben presto protagonista in prima persona di un errore madornale. Attorno al 1940, tutti pensavano che gli elementi che precedevano e seguivano l'uranio nella tavola periodica fossero metalli di transizione. Il 90, per semplici ragioni aritmetiche, doveva stare nella quarta colonna e il 93, il primo non naturale, nella settima, sotto il tecnezio. Ma un'occhiata a una tavola moderna ci mostra che le cose non stanno così: il loro posto è in fondo, sotto le terre rare, con cui condividono varie proprietà chimiche. Il motivo per cui nessuno se ne accorse non è chiaro; forse gli scienziati di allora non prendevano abbastanza sul serio la periodicità e pensavano che le terre rare fossero strane eccezioni dotate di bizzarre proprietà non ripetute altrove. E invece si ripetono: l'uranio e altri elementi tengono gli elettroni confinati negli orbitali f proprio come le terre rare, dunque devono trovarsi nello stesso posto, in quella specie di *dépendance* della tavola, e comportarsi allo stesso modo nelle reazioni chimiche. Tutto ovvio, con il senno di poi. Un anno dopo la clamorosa scoperta della fissione, un collega e vicino di ufficio di Segrè decise di provare a creare l'elemento 93 irraggiando un campione di uranio con il ciclotrone. Convinto, per quanto abbiamo appena detto, che si sarebbe comportato come il tecnezio, chiese aiuto all'italiano, massima autorità riconosciuta in materia. Segrè, appassionato cacciatore di elementi, si mise a controllare i campioni in prima persona. Fidandosi della sua rapida intuizione, come avrebbe fatto il maestro Fermi, dichiarò al mondo che la nuova sostanza si comportava come una terra rara e non come un metallo pesante, cugino del tecnezio. Un'altra noiosa fissione, dunque, che Segrè liquidò in un articolo dal titolo scoraggian-

te: *An Unsuccessful Search for Transuranic Elements*, cioè «Una ricerca infruttuosa di elementi transuranici».

Ma il collega di cui sopra, Edwin McMillan, non era soddisfatto di questa sbrigativa conclusione. Ogni elemento ha una sua «firma» radioattiva caratteristica, e quello liquidato in fretta da Segrè ne aveva una diversa da quella di altre terre rare. Non aveva senso. Dopo lunga meditazione, McMillan ipotizzò che forse i campioni irraggiati si comportavano in quel modo perché dal punto di vista chimico non erano parenti degli elementi di transizione ma delle terre rare. Rifece allora l'esperimento con l'aiuto di un collega, senza però coinvolgere Segrè, e in breve tempo scoprì il primo elemento non naturale, il nettunio. Che storia paradossale: sotto la guida di Fermi, Segrè aveva sbagliato a identificare i prodotti della fissione, prendendoli per elementi transuranici; per conto suo, invece, fece l'errore opposto scambiando il nettunio per un prodotto della fissione. «Come se non avesse imparato dall'esperienza,» scrive Seaborg «Segrè trascurò ancora una volta di far seguire alla scoperta una serie di accurate analisi chimiche».

Lo scienziato sicuramente si sarà arrabbiato con sé stesso, ma lo storico della scienza forse avrebbe trovato interessanti gli sviluppi della vicenda. McMillan vinse il Nobel per la chimica nel 1951; ma l'Accademia svedese aveva già assegnato il premio a Fermi proprio per la (falsa) scoperta degli elementi transuranici. Piuttosto che ammettere l'errore, il comitato per il Nobel ebbe la faccia tosta di onorare McMillan per aver indagato «la *chimica* degli elementi transuranici» (il corsivo è mio). Ripensandoci, visto che la sua scoperta fu dovuta soprattutto all'uso corretto della chimica, tutto sommato la motivazione non è così ridicola.

Segrè era forse troppo sicuro di sé, ma nulla in confronto a un suo collega che stava sempre in California ma più a sud, diviso da pochi chilometri di autostrada I-5: il geniale Linus Pauling.

Ottenuto il dottorato nel 1925, Pauling aveva vinto una borsa di studio di diciotto mesi in Germania, allora centro

del mondo scientifico (e il tedesco era la lingua universale della scienza, come adesso lo è l'inglese). Ciò che il giovane apprese in Europa sulla meccanica quantistica avrebbe ben presto portato la chimica americana a superare quella teutonica e gli avrebbe assicurato anni più tardi un posto sulla copertina del «Time».

In soldoni, Pauling capì come i fenomeni quantomeccanici agiscono sui legami chimici, determinandone la forza, la durata, la conformazione geometrica e molto altro. Fu il Leonardo della chimica, il primo a studiare in dettaglio e con realismo l'anatomia degli atomi, modernizzatore di una disciplina che all'epoca sembrava languire. Pauling merita senza alcun dubbio uno dei migliori complimenti mai fatti a uno scienziato da parte di un collega: «Ci ha dimostrato che la chimica poteva essere *compresa* e non solo imparata a memoria» (corsivo mio).

Dopo questo iniziale trionfo, Pauling si mise a giocare a tutto campo. Tra le sue prime imprese ci fu la scoperta del perché i fiocchi di neve sono esagonali (è a causa della struttura simile del ghiaccio). Allo stesso tempo, sentiva che i confini della chimica fisica gli stavano stretti e si mise a lavorare su diversi progetti di ricerca. Per esempio, scoprì che l'anemia falciforme era letale a causa di una deformazione della molecola di emoglobina, che non riesce più a trasportare l'ossigeno. Era la prima volta che si trovava la causa molecolare di una malattia,⁴ e questa scoperta cambiò per sempre la medicina. Nel 1948, bloccato a letto dall'influenza, Pauling fece una pensata che rivoluzionò la biologia molecolare: dimostrò infatti che le proteine possono teoricamente formare lunghi tubi, detti alfa eliche. La funzione di una proteina dipende in gran parte dalla sua forma; egli fu il primo a comprendere il meccanismo grazie al quale le singole parti delle molecole in questione «sanno» come devono posizionarsi.

In tutti questi casi Pauling era interessato (oltre ovviamente al progresso della medicina) soprattutto all'emergenza quasi miracolosa di alcune caratteristiche man mano che i piccoli e banali atomi si uniscono a formare strutture più complesse. L'aspetto davvero affascinante della questione è che spesso le

parti mostrano ben poco di quello che sarà il tutto. Nessuno potrebbe mai immaginare, se non l'avesse già visto, che degli atomi di carbonio, ossigeno e azoto sono in grado di unirsi a formare una struttura di fondamentale importanza come un aminoacido; allo stesso modo non si potrebbe prevedere il fatto che gli aminoacidi riescono a incastrarsi nel modo giusto per creare tutte le proteine da cui dipende la vita sulla Terra. Lo studio di questi «ecosistemi atomici» fu un balzo da gigante per la scienza, anche più della creazione di nuovi elementi. Ma le ricerche sempre più sofisticate in materia si prestavano anche a maggiori errori e fraintendimenti. Nel lungo periodo, la scoperta delle alfa eliche avrebbe portato Pauling a uno svarione clamoroso: se non avesse sbagliato a ipotizzare la struttura di una celebre elica, il DNA, oggi sarebbe di sicuro annoverato tra i primi quattro o cinque scienziati della storia.

Come molti altri colleghi, Pauling non si interessò al DNA prima del 1952. Questa molecola, però, era stata scoperta molto tempo addietro, nel 1869, dal biologo svizzero Friedrich Miescher, grazie a una serie di esperimenti particolari: miscelava alcol, succhi gastrici di maiale e pus umano (che si procurava senza problemi negli ospedali, dove raccoglieva i bendaggi delle ferite infette), ricavandone una sostanza grigiastra e appiccicosa – quella che oggi chiamiamo acido desossiribonucleico. Dopo le prime analisi, Miescher dichiarò, con evidente spirito di autopromozione, che si trattava di una sostanza fondamentale dal punto di vista biologico. Ma, purtroppo per lui, controlli più precisi mostrarono la presenza di grandi quantità di fosforo, incompatibili con le conoscenze biochimiche del tempo. All'epoca si consideravano degne di interesse solo le proteine, notoriamente prive di fosforo, dunque la sostanza organica scoperta da Miescher fu considerata alla stregua di un fossile vivente, o di un organo vestigiale come l'appendice.⁵

I pregiudizi caddero solo nel 1952, grazie a un illuminante esperimento condotto sui virus. I virus si replicano attaccando le cellule, dentro cui iniettano il loro aggressivo materiale genetico (sono come zanzare al contrario). Nessuno però, prima di quella data, sapeva dove fos-

se immagazzinata l'informazione genetica, se nel DNA o nelle proteine. Per risolvere la questione due ricercatori utilizzarono dei marcatori radioattivi per etichettare il fosforo contenuto nel DNA dei virus e lo zolfo presente invece nelle proteine. Esaminando varie cellule infettate, videro che era presente il fosforo, iniettato dal virus, ma non lo zolfo. Dunque l'informazione genetica non era portata dalle proteine, ma dal DNA.⁶

Ma com'era fatta questa molecola? Allora si sapeva solo che si presentava in lunghi filamenti, la cui struttura portante era costituita da fosfati e zuccheri, su cui si innestavano in qualche modo gli acidi nucleici, simili a spine su una lisca. La forma precisa di questi filamenti e il modo in cui si legavano rimanevano misteriosi. Come aveva mostrato Pauling con l'emoglobina e le alfa eliche, la forma di una molecola è intimamente legata alla sua funzione, dunque scoprire come era fatto il DNA divenne l'ossessione della biologia molecolare.

Pauling, come altri suoi colleghi, pensava di essere il solo in grado di risolvere il problema. Non era questione di arroganza, o almeno non solo questo: era convinto dei suoi mezzi e non era mai stato sconfitto prima di allora. Nel 1952, armato di carta, matita, regolo calcolatore e dati di seconda mano non troppo attendibili, si sedette alla scrivania intenzionato a sciogliere il mistero. Come punto di partenza, decise (sbagliando) che per tenere insieme la molecola gli ingombranti acidi nucleici dovevano stare per forza all'esterno dei filamenti, e i fosfati e gli zuccheri all'interno. E concluse che la forma doveva essere quella di una tripla elica. Purtroppo i dati di cui disponeva si riferivano a frammenti di DNA morto, secco, che si raggomitola in modo diverso da quello vivo. Dunque sembrava più strettamente avvitato, con tre filamenti. Sulla carta il modello era plausibile.

Tutto pareva filare per il meglio, fino a quando Pauling chiese a un suo dottorando di controllargli i calcoli. Lo studente obbedì e ben presto si trovò impegnato nel tentativo di capire come mai il suo maestro si fosse sbagliato. Alla fine fece notare a Pauling che i fosfati non potevano stare lì, per una ragione elementare. Nonostante molti tendano a con-

cepire la chimica come una scienza che studia il comportamento di atomi neutri, chi ne sa di più ha una concezione diversa. In natura, specialmente in campo biochimico molti elementi esistono solo come ioni, cioè particelle cariche. Secondo le leggi scoperte anche grazie al lavoro di Pauling, il fosforo nel DNA doveva presentarsi sotto forma di ioni negativi, che si respingono perché hanno la stessa carica. Dunque era impossibile infilare tre gruppi fosfato nel bel mezzo della tripla elica senza far saltare in aria la baracca.

Lo studente spiegò la cosa a Pauling, che dall'alto della sua posizione lo ignorò educatamente. Non è chiaro perché avesse chiesto una verifica dei calcoli, visto che non era disposto ad accettare critiche, ma è chiaro invece perché scelse di andare avanti per la sua strada: voleva essere il primo, voleva che il suo modello di DNA soppiantasse tutti gli altri. Mettendo da parte la sua abituale pignoleria, si disse che i dettagli morfologici della molecola sarebbero tornati da soli, in qualche modo, e corse a divulgare le sue tesi in un articolo pubblicato a inizio 1953.

Di quello stesso articolo, sull'altra sponda dell'Atlantico, due goffi studenti riuscirono a leggere una versione preliminare, fornita a titolo d'amicizia dal figlio di Pauling, Peter, loro collega di laboratorio.⁷ James Watson e Francis Crick, allora sconosciuti, si erano messi in testa di risolvere l'enigma del DNA a tutti i costi per fare carriera. Ciò che lessero nell'articolo del grande scienziato li lasciò a bocca aperta: era lo stesso modello a cui erano arrivati loro l'anno prima. Ma era anche lo stesso che avevano abbandonato, pieni di vergogna, dopo esser stati duramente criticati da una collega, che aveva mostrato loro quanto fosse impreciso.

Durante la sua lavata di capo, però, Rosalind Franklin si era lasciata scappare un segreto. Era un'esperta di cristallografia a raggi X, disciplina che studia proprio la forma delle molecole. In quello stesso anno aveva esaminato un campione di DNA vivo proveniente da spermatozoi di calamaro e ne aveva dedotto che aveva la forma di una doppia elica. Pauling, che negli anni trascorsi in Germania si era impraticitato nella disciplina, avrebbe probabilmente risolto

il mistero del DNA se avesse avuto a disposizione quei validi dati (anche i suoi provenivano da laboratori di cristallografia, ma si riferivano a un campione disseccato). Ma le sue posizioni progressiste l'avevano fatto finire sulla lista nera dei maccartisti, e il passaporto gli era stato ritirato. Nel 1952 non aveva potuto recarsi, dunque, a un importante convegno in Inghilterra, dove forse avrebbe appreso i nuovi dati. Watson e Crick, da parte loro, non avevano nessuna intenzione di condividere alcunché con i colleghi: mandata giù la figuraccia rimediata con la Franklin, si misero a utilizzare i suoi dati senza farsi scrupoli. Poco dopo misero le mani sulle bozze dell'articolo di Pauling, dove videro ripetuti i loro errori di qualche tempo prima.

Passato un momento di sconcerto, chiesero lumi al loro supervisore, William Bragg. Questi aveva vinto il Nobel molto tempo prima, ma negli ultimi anni era stato regolarmente battuto sulle scoperte importanti (come le alfa eliche) dal suo brillante, nonché «immaturo ed esibizionista» (per citare uno storico) rivale Linus Pauling. Bragg aveva proibito a Watson e Crick di lavorare ancora sul DNA, dopo la sciocchezza della tripla elica; ma quando i due giovani gli confessarono di aver continuato le ricerche in segreto e gli mostrarono le cantonate di Pauling, egli intravide una possibilità di riscatto. A Watson e Crick fu ordinato di mettersi subito al lavoro.

Come prima cosa, Crick scrisse una subdola lettera a Pauling in cui gli chiedeva come facessero i fosfati a rimanere intatti nel suo modello, visto che secondo le sue teorie la cosa risultava impossibile. Questa obiezione tenne impegnato l'americano in noiosi calcoli per un po'. A un certo punto il figlio Peter lo avvertì che Watson e Crick erano vicini alla soluzione, ma egli continuava a insistere sulla tripla elica, affermando di avere quasi risolto tutti i problemi. Ben sapendo che Pauling era testardo ma non certo stupido e che presto si sarebbe accorto degli errori, Watson e Crick si misero alla disperata ricerca di idee. Non erano sperimentatori, ma brillanti interpreti di dati altrui. Nel 1953 riuscirono finalmente a ottenere l'indizio mancante dal lavoro di un altro collega.

Questi aveva scoperto che i quattro acidi nucleici del DNA

(siglati con A, C, G e T) si presentavano sempre a coppie nelle stesse proporzioni: se un campione conteneva, per esempio, il 36 per cento di A, si poteva esser sicuri che ci fosse anche il 36 per cento di T. Lo stesso per C e G, sempre, senza fallo. Watson e Crick capirono dunque che queste coppie dovevano ripresentarsi in qualche modo nella struttura interna del DNA. (Ironie della storia, lo stesso scienziato aveva raccontato le sue scoperte a Pauling anni prima, durante una crociera. Questi però non aveva gradito l'essere disturbato in vacanza dalle chiacchiere di un collega e aveva tagliato corto). Inoltre, fatto quasi miracoloso, gli elementi delle due coppie si incastravano perfettamente, come pezzi di un puzzle. Ecco perché il DNA poteva avvolgersi così stretto; e non c'era più motivo di mettere il fosforo all'interno come aveva fatto Pauling. Così Watson e Crick pensarono bene di rovesciare il modello di Pauling, che continuava ad arrabattarsi per correggere gli errori. Grazie alla loro soluzione, gli ioni negativi di fosforo non erano più a contatto. Il tutto portava a ipotizzare una sorta di scala a pioli storta, la famosa doppia elica, che sembrava far tornare tutti i conti. Prima che Pauling potesse abbozzare,⁸ Watson e Crick pubblicarono le loro tesi sul numero di «Nature» del 25 aprile 1953.

Come reagì il contendente sconfitto, dopo aver visto pubblicamente sconfessato il suo modello a tripla elica con il fosforo all'interno? E aver perso (tra l'altro per colpa di allievi del suo nemico Bragg) la corsa alla grande scoperta biologica del secolo? Con straordinaria dignità, la stessa che piacerebbe avere a tutti noi in un'occasione analoga. Pauling ammise i suoi errori, riconobbe la sconfitta e invitò Watson e Crick a un importante convegno che stava organizzando alla fine del 1953. Data la sua statura scientifica, poteva permettersi di essere magnanimo. E così fu.

Gli anni successivi al 1953 furono carichi di soddisfazioni sia per Pauling sia per Segrè. Quest'ultimo nel 1955 scoprì l'antiprotone, con la collaborazione di Owen Chamberlain, un collega a Berkeley. Gli antiprotoni sono l'immagine speculare dei protoni: hanno carica negativa,

possono, in un certo senso, viaggiare indietro nel tempo e hanno l'inquietante potere di annichilire la materia «vera» con cui vengono in contatto, compresa quella di cui siamo fatti noi tutti. L'esistenza dell'antimateria era stata prevista teoricamente nel 1928 e dimostrata nel 1932 con la scoperta dell'antielettrone o positrone – impresa relativamente facile. L'antiprotone, invece, si dimostrò sfuggente come il tecnezio. Il fatto che Segrè sia riuscito ad acciuffarlo dopo anni di appostamenti e false piste è testimonianza della sua tenacia di ricercatore. Per questa scoperta, dimenticati gli errori del passato, quattro anni dopo gli fu conferito il premio Nobel per la fisica.⁹ Con mossa azzeccata, durante la cerimonia indossò un gilet bianco preso in prestito da Edwin McMillan.

Persa la corsa al DNA, Pauling ottenne come ampio premio di consolazione un meritato Nobel per la chimica nel 1954. Dopo questo riconoscimento, come era nel suo stile, iniziò a occuparsi di tutt'altro. Esasperato da perenni raffreddori, fece qualche esperimento su sé stesso ingerendo dosi massicce di vitamine. Per qualche motivo la cura sembrò funzionare, e si mise a propagandarla in giro. Il suo autorevole imprimatur diede impulso alla mania collettiva americana per i supplementi vitaminici, che continua anche oggi senza dar segni di cedimento, e fornì una pezza d'appoggio all'ipotesi che la vitamina C curasse il raffreddore (il che probabilmente è falso – eh già). Pauling, che non aveva voluto prender parte al Progetto Manhattan, divenne anche un attivista politico, uno dei più forti sostenitori del disarmo; partecipò a marce di protesta e scrisse libri contro la guerra. Per tutto ciò, un po' a sorpresa, nel 1962 gli fu assegnato un secondo Nobel, stavolta per la pace. A oggi è l'unica persona ad aver ottenuto due Nobel non in condivisione con altri premiati. Ma quell'anno a Stoccolma dovette dividere la scena con due scienziati a cui era stato assegnato il Nobel per la medicina: James Watson e Francis Crick.

LA BANDA DEGLI AVVELENATORI: «ITAI ITAI!»

⁴⁸ Cd 112.412	⁸¹ Tl 204.383	⁸³ Bi 208.980	⁹⁰ Th 232.038	⁹⁵ Am (243)
--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------

Pauling imparò a sue spese che la biologia è materia assai più delicata della chimica. Gli aminoacidi si possono strapazzare quanto si vuole, ma dal punto di vista chimico alla fine ci si ritrova sempre con le stesse sostanze, magari elettrizzate ma intatte. Invece le proteine di un organismo vivente, più complesse e fragili, deperiscono se sottoposte a stress, che si tratti di calore, acidi o, peggio ancora, elementi tossici. I più incalliti delinquenti di quest'ultimo gruppo sono in grado di sfruttare a loro favore tutte le debolezze delle cellule, che spesso attaccano mascherandosi da minerali benefici o sostanze nutritizie. Le storie che descrivono le efferatezze della «banda degli avvelenatori» ci portano in uno degli angoli più oscuri della tavola periodica.

Il più leggero di questi tipacci, tutti vicini di posto, è il cadmio. La sua storia è legata a un'antica miniera del Giappone centrale, presso Kamioka, in attività già nel 710 d.C. Nel corso dei secoli, dalle montagne di questa zona si sono estratti oro, piombo, argento e rame, seguendo i voleri dei vari *shogun* e possidenti che si sono succeduti come padroni della terra. Solo dodici secoli dopo l'apertura della miniera si cominciò a lavorare il cadmio, il metallo che avrebbe reso la zona tristemente famosa per il grido di dolore nipponico «*itai itai!*» («ahi ahi!»).

La guerra russo-giapponese del 1904-1905 e la prima guerra mondiale portarono a un forte aumento della domanda di metalli in Giappone. Tra questi c'era lo zinco, utilizzato per costruire armature, aeroplani e munizioni. Il cadmio sta subito sotto lo zinco nella tavola periodica, e i due elementi si presentano tanto uniti nella crosta terrestre che si fa fatica a distinguerli. Per purificare lo zinco estratto a Kamioka, è probabile che si utilizzasse una tecnica primitiva: veniva tostato come il caffè e poi immerso in un acido in grado di sciogliere il cadmio. Seguendo le allegre pratiche di smaltimento del tempo, le scorie di questo processo erano gettate nei fiumi o sepolte nel terreno, da dove si infiltravano nella falda acquifera.

Oggi nessuno si sognerebbe di buttar via il cadmio, che si è dimostrato assai prezioso: lo si trova per esempio come anticorrosivo nel rivestimento delle batterie e nei calcolatori, e trova impiego, da tempo, nei pigmenti dei colori e nelle operazioni di saldatura. Un centinaio di anni fa era addirittura di moda rivestire tazze e bicchieri con questo bel metallo scintillante. Comunque sia, oggi non lo getteremmo nei fiumi soprattutto perché sappiamo quanto sia terribilmente dannoso per la salute. Le tazzine al cadmio, per trendy che fossero, furono vietate dopo centinaia di casi di avvelenamento: bastava che un acido, come la limonata, ne sciogliesse una piccola quantità. Quando i lavoratori impegnati nello sgombero di Ground Zero dopo gli attacchi terroristici dell'11 settembre 2001 iniziarono a presentare i sintomi di malattie respiratorie, qualche medico subito sospettò che la colpa fosse del cadmio, visto che nel crollo delle torri erano andate distrutte migliaia di apparecchiature elettroniche. La diagnosi si rivelò errata, ma era significativa del fatto che l'elemento 48 scatenasse nei sanitari una sorta di riflesso pavloviano.

Questo automatismo è figlio di una dolorosa vicenda avvenuta un secolo fa nella miniera di Kamioka. Già nel 1912, i dottori si accorsero che i contadini del posto erano colpiti da nuove e tremende malattie. Ne erano vittime quasi esclusivamente le donne, il 98 per cento dei casi; i sintomi più evidenti erano fortissimi dolori alle ossa e alle articolazioni, accompagnati spesso da problemi ai reni. A un certo punto

le ossa diventavano fragilissime e si rompevano anche per le normali attività quotidiane (un medico ruppe il polso a una sua giovane paziente nel tentativo di prenderle le pulsazioni). La malattia misteriosa si diffuse soprattutto negli anni Trenta e Quaranta, proprio quando il militarismo giapponese era al suo apice. La domanda di zinco cresceva e le scorie al cadmio contaminavano terre e acque; la zona di Kamioka fu una delle meno colpite direttamente dalla guerra, ma al contempo si trovò a essere una delle aree più infelici del Giappone. La malattia si diffondeva di paese in paese. Era nota informalmente come *itai itai*, cioè «ahi ahi», per via delle grida di dolore dei malcapitati che ne erano colpiti.

Solo a guerra finita, nel 1946, un dottore locale chiamato Noboru Hagino si mise a studiare sistematicamente la malattia. All'inizio pensava che si trattasse di malnutrizione, ma questa si rivelò un'ipotesi poco plausibile. Allora volse la sua attenzione alla miniera, le cui tecnologie estrattive ultramoderne contrastavano fortemente con gli antichi metodi di coltivazione del riso dei contadini locali. Con l'aiuto di un esperto di igiene, Hagino compilò una mappa epidemiologica della diffusione della malattia; ricostruì anche l'idrografia della zona, per capire dove andavano a finire le acque del fiume Jinzu, che scorreva accanto alla miniera ed era usato per irrigare i campi. Sovrapponendo le due carte, si accorse che erano praticamente identiche. Fece poi analizzare le piantine di riso e scoprì che assorbivano cadmio come spugne.

Con un lungo e paziente lavoro, negli anni seguenti si arrivò a capire l'azione tossica di questo elemento. Lo zinco è un minerale essenziale per la nostra sopravvivenza e il cadmio si confonde con esso nel corpo umano proprio come fa nei minerali. Inoltre interferisce con i composti dello zolfo e del calcio, ed è per questo che fa danni soprattutto alle ossa. Purtroppo questo elemento è un rozzo sostituto di quelli con cui si confonde, perché non è in grado di svolgere le stesse funzioni biologiche. Cosa ancora più sfortunata, una volta che il cadmio è entrato nell'organismo non si riesce più a eliminarlo. Nel caso giapponese la malnutrizione fu un fattore accessorio: la dieta locale era quasi esclusiva-

mente a base di riso, alimento privo di nutrimenti essenziali, quindi i contadini soffrivano di carenze di vari minerali. Il cadmio era in grado di «imitare» questi minerali abbastanza bene da ingannare le cellule umane, soprattutto in condizioni di penuria. Così questo metallo si insinuava nel loro organismo in quantità molto più alte del normale.

Hagino rese pubblici i suoi risultati nel 1961. Con mossa prevedibile e forse comprensibile, la compagnia mineraria Mitsui, proprietaria del giacimento, negò ogni responsabilità scaricandola sulla precedente gestione. Con mossa vergognosa, poi, cercò di screditare il dottore. Quando si formò una commissione sanitaria locale incaricata di indagare sull'*itai itai*, gli uomini della Mitsui fecero in modo che Hagino, il maggior esperto mondiale della materia, non ne facesse parte. Questi nel frattempo correva su e giù per il Giappone per cercare altri casi, e trovandone alcuni a Nagasaki fu ancor più convinto di essere nel giusto. Alla fine, la commissione locale ebbe un sussulto di coscienza e concluse che il cadmio era forse responsabile della malattia. In seguito a un appello un'altra commissione, questa volta nazionale, decise che le prove portate da Hagino erano inconfutabili e che quindi l'avvelenamento da cadmio aveva sicuramente causato l'*itai itai*. Nel 1972 la società mineraria iniziò a corrispondere i risarcimenti a 178 sopravvissuti, per un totale di oltre 2,3 miliardi di yen annui. Dodici anni dopo, la memoria di quegli orrori era ancora così forte in Giappone che i creatori di *Il ritorno di Godzilla* si inventarono dei missili al cadmio come arma finale per uccidere il mostro. Visto che Godzilla era nato, nella finzione, in seguito all'esplosione di una bomba all'idrogeno, si può capire quale terribile fama avesse questo elemento.

L'epidemia di *itai itai* non fu un episodio isolato, nel Giappone del secolo scorso. Per altre tre volte (due a causa del mercurio e una a causa di biossido di zolfo e azoto) gli abitanti di zone rurali furono vittime di intossicazioni di massa dovute a lavorazioni industriali. Si parla da allora delle quattro grandi malattie da inquinamento del Giappone. E non dobbiamo dimenticare le migliaia di giapponesi vittime delle radiazioni dopo l'esplosione delle due bombe atomi-

che americane, una all'uranio e una al plutonio, nel 1945. La prima grande crisi, però, fu proprio il lungo e silenzioso olocausto di Kamioka – ignoto a quasi tutti se non alle povere vittime. *Itai itai!*

Il cadmio, per quanto spaventevole, non è assolutamente l'elemento più tossico della tavola periodica. Sotto di lui, per esempio, c'è il mercurio, una neurotossina. E alla destra del mercurio ci sono i più sinistri criminali della tavola: il tallio, il piombo e il polonio, il nocciolo duro della banda degli avvelenatori.

Questo raggruppamento è in parte accidentale, ma vi sono precise ragioni chimiche e fisiche per la forte concentrazione di veleni in quel settore della tavola periodica. Una, che suona quasi paradossale, è la loro non volatilità. Se ingerissimo sodio o potassio puri questi esploderebbero a contatto con le nostre cellule, visto che reagiscono violentemente con l'acqua. Ma la loro alta reattività fa sì che in natura non si presentino mai puri, nella forma pericolosa. Gli elementi della banda degli avvelenatori sono meno reattivi e dunque riescono a insinuarsi nell'organismo prima di aver effetto. Inoltre, come molti metalli pesanti, cedono un diverso numero di elettroni a seconda delle circostanze. Lo ione potassio, per esempio, si presenta sempre sotto forma K^+ , mentre il tallio può essere sia Tl^+ sia Tl^{3+} . Come conseguenza, quest'ultimo può «imitare» vari elementi e insinuarsi in diversi processi biochimici.

Proprio il tallio, elemento numero 81, è considerato il più letale di tutti. Le cellule degli animali sono dotate di uno speciale meccanismo per fare entrare gli ioni di potassio, un canale privilegiato in cui il tallio si infila. Una volta entrato nell'organismo, spesso per via epidermica, questo elemento si toglie la maschera del potassio: inizia a sciogliere i fondamentali legami tra aminoacidi all'interno delle proteine e a srotolare i loro complessi ripiegamenti, rendendole inutili. E diversamente dal cadmio, il tallio non si fissa nelle ossa o nei reni, ma scorrazza nell'organismo come la versione molecolare di un'orda di mongoli. Un solo atomo può causare danni inimmaginabili.

Per questi motivi, il tallio ha fama di essere il veleno degli avvelenatori, l'elemento di elezione per coloro che traggono un piacere quasi estetico ad aggiungere un pizzico di veleno a cibi e bevande. Negli anni Sessanta del secolo scorso ci fu il famigerato caso di Graham Frederick Young, un inglese che dopo aver letto varie storie sensazionalistiche sulle imprese dei serial killer volle sperimentare l'ebbrezza in prima persona. Ne furono vittime i membri della sua famiglia, nelle cui tazze e pentole furono versate varie dosi di tallio. Fu preso e rinchiuso in un manicomio criminale, ma inspiegabilmente fu rilasciato poco dopo. Riprese allora ad avvelenare la gente: settanta in totale, tra cui vari datori di lavoro. Solo tre di loro morirono, visto che Young aveva cura di prolungare le sofferenze delle vittime somministrando loro dosi non letali.

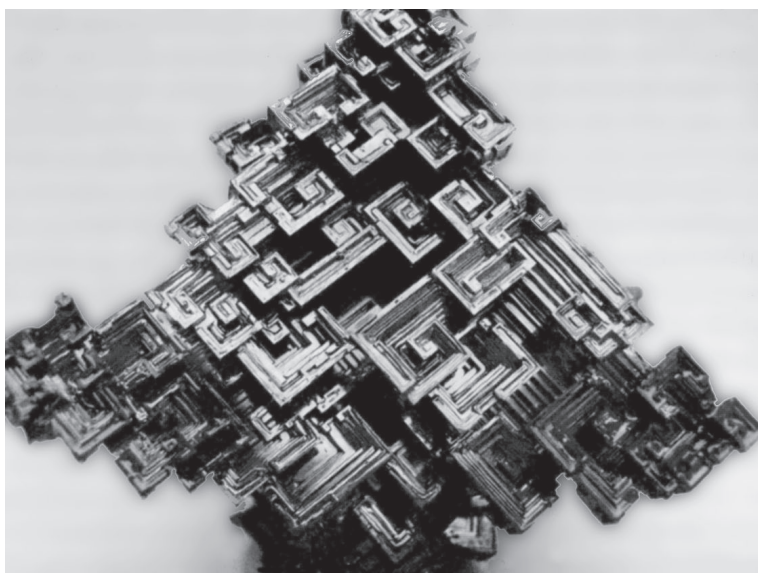
Non si trattò certo di un caso isolato, visto che il tallio ha una lunga lista di nefandezze a suo carico: spie, orfani e prozie ricche sono caduti sotto i suoi colpi.¹ Ma invece di rivangare nel passato più nero, preferisco qui ricordare l'unico episodio che vide l'elemento 81 protagonista di una commedia (tragi-commedia, direi). Negli anni in cui era ossessionata da Cuba, la CIA elaborò un piano per uccidere Fidel Castro mettendogli del talco al tallio nei calzini. Le spie americane erano particolarmente solleticate dal fatto che l'avvelenamento avrebbe provocato la caduta dei capelli e, soprattutto, della celebre barba, demascolinizzando il Lider Maximo agli occhi dei suoi *companeros*. Non si sa perché il piano non fu mai tentato.

Se tallio, cadmio e compagnia sono così pericolosi è anche perché restano in circolazione per moltissimo tempo. Non tanto perché – vedi il cadmio – si accumulano nell'organismo, quanto perché questi elementi, proprio come l'ossigeno, tendono ad avere nuclei stabili, quasi sferici, che non decadono mai spontaneamente. Ecco perché ce ne sono ancora generose quantità nella crosta terrestre. Il più pesante degli elementi eternamente stabili, il piombo, ha numero atomico 82, che è uno dei numeri magici (si veda sopra, p. 39) ; il più pesante degli elementi quasi stabili, il bismuto, è suo vicino di posto, al numero 83.

Dato il suo particolare ruolo nella banda degli avvelenato-

ri, questo strano elemento merita un'occhiata più da vicino. È un metallo biancastro con sfumature di rosa, che quando brucia fa una fiamma blu ed emette fumi gialli. Come cadmio e piombo, trova applicazione nell'industria dei coloranti – e anche in quella dei fuochi d'artificio. Nel numero quasi infinito di sostanze che si possono costruire a partire dagli elementi della tavola periodica, il bismuto è uno dei pochissimi casi in cui il congelamento provoca un'espansione. La cosa non ci sembra bizzarra perché il ghiaccio si comporta così (infatti galleggia sull'acqua, e un ipotetico lago di bismuto avrebbe anche lui iceberg in superficie), ma in realtà è rara, perché i solidi in genere hanno struttura molecolare più strettamente coesa dei liquidi. A ogni modo, il ghiaccio di bismuto sarebbe probabilmente splendido. Questo elemento è infatti molto decorativo ed è diventato un oggetto da collezione nella sua forma cristallina iridescente, che assume configurazioni meravigliose simili a scale multicolori. Il ghiaccio di bismuto potrebbe essere la versione tridimensionale e in technicolor di un'opera di Escher.

Il bismuto ha anche aiutato la scienza a indagare in profondità la struttura della materia radioattiva. Per lungo tempo ci si è chiesti se alcuni elementi avessero durata potenzialmente infinita o no. Nel 2003 un gruppo di fisici in Francia prese un campione di bismuto puro, lo racchiuse in una complessa struttura per eliminare ogni possibile interferenza esterna, e lo collegò a vari rilevatori per cercare di calcolarne il «tempo di dimezzamento» (o «emivita»), cioè il tempo in cui un elemento si riduce di metà a furia di decadimenti. Questo è lo standard con cui si misura la stabilità delle sostanze radioattive. Se per esempio cento chili dell'elemento X diventano cinquanta in 3,14159 anni, diciamo che questo numero è appunto il tempo di dimezzamento di X; dunque, dopo altri 3,14159 anni, la quantità di partenza si riduce a venticinque chili, e così via. Secondo le leggi della fisica nucleare, l'emivita del bismuto dovrebbe essere venti miliardi di miliardi di anni, molto più dell'età dell'universo (è circa il suo quadrato; ci vogliono tutti questi anni per avere una probabilità su due di vedere un atomo di bismuto sparire). L'esperimento



La complessa e colorata struttura a scalini di un cristallo iridescente di bismuto, che si forma quando questo elemento si raffredda cristallizzandosi. Il campione qui raffigurato è grande come la mano di un uomo (per gentile concessione di Ken Keraiff, Krystals Unlimited).

francese era la versione scientifica di *Aspettando Godot*, ma incredibilmente ha funzionato. Con la giusta quantità di bismuto e la pazienza di aspettare qualche decadimento, si è scoperto che la previsione teorica era giusta e che il bismuto non è eternamente stabile, ma durerà abbastanza per essere considerato l'ultimo elemento a sparire.

Per inciso, in questi anni in Giappone si sta effettuando un esperimento dall'analogo sapore beckettiano per stabilire se *tutta* la materia si disintegrerà prima o poi. Secondo alcuni calcoli, i protoni, mattoni degli elementi, sono leggerissimamente instabili e hanno un tempo di dimezzamento di almeno 10^{33} , cioè un milione di miliardi di miliardi di miliardi di anni. Senza farsi scoraggiare da questa cifra, un folto gruppo di scienziati ha messo in piedi un apparato che consiste in un grande serbatoio sotterraneo, situato in una miniera abbandonata, pieno di acqua purissima e non sog-

getta a influenze esterne. Questa grande piscina è circondata da molti rilevatori di grande sensibilità, pronti a scattare in presenza del decadimento di un protone. È altamente improbabile che ciò si verifichi, ma per lo meno è un modo assai più nobile di usare la miniera di Kamioka – sì, proprio quella.

È giunto il momento di dire tutta la verità sul bismuto. Tecnicamente è radioattivo, d'accordo, e la sua posizione nella tavola periodica sembra preludere a grandi disastri. Si trova nella stessa colonna di arsenico e antimonio ed è vicino di casa dei più famigerati metalli pesanti. Eppure è innocuo. Anzi, si usa addirittura come farmaco antiulcera. (Anche la diarrea dovuta all'avvelenamento da cadmio, all'epoca in cui si usava questo elemento nei bicchieri, era di solito curata con il bismuto). Ed è forse il più fuori posto tra tutti gli elementi della tavola. È un'affermazione che potrebbe non piacere a certi chimici e fisici, che vorrebbero un mondo pieno di coerenza matematica. In realtà è un'altra prova del fatto che la tavola periodica nasconde molte storie interessanti e imprevedibili: basta sapere dove cercare.

Forse il bismuto non è tanto una strana anomalia quanto un esemplare di «metallo nobile». I gas nobili si frappongono tra due colonne di elementi violenti, ognuno a modo suo; analogamente, il pacifico bismuto è posto nel punto di passaggio tra due tipi di veleni: dalle sostanze tossiche «tradizionali» appena descritte, che causano subito nausea e dolori, a quelle più subdole e brucianti che vedremo ora.

Oltre le colonne del bismuto si trova in agguato il polonio, veleno di elezione dell'era nucleare. Come il tallio, ha tra i suoi effetti la caduta dei capelli. Una dimostrazione del suo potere si è vista nel novembre 2006 con il caso di Alexandr Litvinenko, l'ex agente del KGB avvelenato con del sushi al polonio in un ristorante di Londra. Continuando a percorrere la tavola, saltiamo per il momento il raro astato e arriviamo al radon. Da bravo gas nobile, questo elemento non ha odore né colore e non reagisce con nulla. Però è pesante e se entra nei polmoni emette letali particelle radioattive che portano inevitabilmente al cancro – un'altra subdola strategia della banda degli avvelenatori.

La radioattività è la costante di tutta la parte bassa della tavola periodica. Il suo ruolo è simile a quello della regola dell'ottetto per gli elementi in alto: quasi ogni informazione utile si può ricavare conoscendo le modalità e i tempi con cui un elemento decade. La migliore storia che possa illustrare le diverse facce della radioattività è forse quella di un giovane americano che, come Graham Frederick Young, sviluppò una forma di ossessione per gli elementi pericolosi. Ma David Hahn, al contrario del suo omologo inglese, non era un pazzo con l'hobby di uccidere la gente; al contrario, le sue mattane adolescenziali erano figlie del desiderio di aiutare il mondo. Il suo obiettivo era risolvere la crisi energetica mondiale e porre fine alla dipendenza dal petrolio; la voglia di far bene lo portò all'ossessione, come capita agli adolescenti, e questo sedicenne di Detroit a metà degli anni Novanta si trovò a costruire un reattore nucleare nel ripostiglio per gli attrezzi del giardino di sua madre.² Tutto era iniziato con una missione da boy-scout.

David aveva letto un libro per giovani chimici intitolato *The Golden Book of Chemistry Experiments*, scritto con quel positivismo irritante tipico dei filmini educativi in bianco e nero degli anni Cinquanta. La materia lo entusiasmò al punto tale che divenne molesto: a una festa, la madre della sua ragazza gli proibì di parlare di chimica, perché continuava a rivelare dettagli disgustosi sugli elementi contenuti nei cibi che gli ospiti stavano consumando – l'equivalente intellettuale di parlare con la bocca piena. I suoi interessi non si limitavano agli aspetti teorici. Come tanti scienziati in erba, ben presto David esaurì tutti gli ingredienti della sua scatola da piccolo chimico e iniziò a giocare con sostanze pericolose, abbastanza potenti da fare buchi nelle pareti di casa e nella moquette. La madre lo obbligò a trasferire i suoi esperimenti prima in cantina, poi nel capanno degli attrezzi, il che a lui andava benissimo. Al contrario di tanti scienziati in erba, però, David non diventava più bravo con il passare del tempo. Un giorno, prima di un raduno scout, si colorò la faccia di arancione mentre faceva esperimenti con delle sostanze autoabbronzanti, che in pratica gli esplosero in faccia. Un'analoga esplosione avvenne quando, con una mossa che denotava una profonda ignoranza della

chimica, cercò di aprire un contenitore pieno di potassio purificato bucandolo con un cacciavite (*pessima* idea, davvero): gli estrassero frammenti di plastica dagli occhi per mesi.

David imparò, tra l'altro, che esistevano principalmente tre fenomeni nucleari: la fusione, la fissione e il decadimento radioattivo. La fusione dell'idrogeno è il motore delle stelle, ed è il processo più efficiente dal punto di vista energetico, ma sulla Terra gioca un ruolo modesto, visto che non siamo in grado di riprodurre le condizioni adatte di temperatura e pressione perché avvenga l'innescò. David si rivolse allora alla fissione dell'uranio e ai neutroni, suoi sottoprodotti. Gli elementi pesanti come l'uranio fanno fatica a tenere confinati nei nuclei i protoni, dotati di carica positiva e tendenti a respingersi, dunque devono usare molti neutroni come isolanti. Quando un atomo pesante decade in due più leggeri, questi ultimi non hanno più bisogno di tanti neutroni, quindi li sputano fuori. Capita che queste particelle siano assorbite dagli atomi pesanti nelle vicinanze, che a loro volta diventano instabili, decadono ed emettono altri neutroni: è la reazione a catena. In una bomba potete permettere che il fenomeno diventi violento; in un reattore per la produzione di energia dovete essere molto attenti con i controlli, perché la fissione deve rimanere prolungata nel tempo. Dal punto di vista ingegneristico, il problema principale è che i sottoprodotti della fissione dell'uranio sono stabili e non propagano la reazione a catena, dunque i reattori convenzionali alla lunga si spengono per mancanza di carburante.

David aveva capito questo aspetto della questione. Quello che all'inizio doveva essere un progetto di ricerca per ottenere un distintivo di merito da appuntare alla divisa da boy-scout (giuro) divenne qualcosa di terribilmente diverso: la costruzione di un «reattore autofertilizzante», che riesce a crearsi da solo il carburante con un'accorta combinazione di materiali radioattivi. Il suo progetto prevedeva di partire con una barretta di uranio 233 (il 233 è dato dalla somma di 141 neutroni e 92 protoni – notate la sproporzione a favore delle particelle neutre), circondata da uno strato di torio 232. Dopo la fissione, il torio assorbe un neutrone e diventa torio 233, che è instabile; avviene allora un

decadimento beta, in cui il torio perde un elettrone e, poiché la natura tende all'equilibrio, converte un neutrone in protone. Tale mossa lo trasforma nell'elemento successivo della tavola periodica, il protoattinio 233. Anche questo è instabile, emette un elettrone e si trasforma nell'elemento di partenza, l'uranio 233. Quasi per magia, combinare nel modo giusto le sostanze radioattive fornisce al processo il carburante necessario.

David lavorava al suo progetto solo nel fine settimana, perché dopo la separazione dei genitori erano gli unici giorni che passava a casa della madre. Per proteggersi acquistò un grembiule di piombo, di quelli usati dai dentisti, e dopo ogni sessione nel capanno degli attrezzi per precauzione buttava via i vestiti e le scarpe. (In seguito sua madre e il suo patrigno raccontarono che in effetti si erano accorti che David gettava capi di abbigliamento ancora usabili, e l'avevano trovato strano. Però erano convinti che il ragazzo fosse più intelligente di loro e sapesse quel che stava facendo).

La parte più facile di quel complesso lavoro era probabilmente procurarsi il torio 232. I composti a base di questo materiale hanno un punto di fusione molto alto e sono assai brillanti se incandescenti. Sono troppo pericolose per l'illuminazione casalinga, ma le lampade al torio si trovano comunemente in contesti industriali, per esempio nelle miniere. Al posto del filamento delle lampadine tradizionali, queste hanno delle speciali reticelle; David ne ordinò centinaia da un fornitore, che glielne spedì senza farsi troppe domande. Poi, dimostrando di avere imparato un po' di chimica, ridusse le reticelle in cenere con l'aiuto di una fiamma ossidrica e le mischiò a del litio, che sul mercato gli sarebbe costato un migliaio di dollari ma che lui si procurò aprendo delle batterie con un tronchesino. Riscaldando questa miscela con un becco Bunsen ottenne torio purificato, ottimo per fare da rivestimento al suo nocciolo di uranio.

Sfortunatamente, o meglio per fortuna, David aveva forse imparato qualcosa sulla chimica degli elementi radioattivi, ma la parte fisica gli sfuggiva del tutto. Per ottenere l'uranio 233, doveva irraggiare il torio con uranio 235. Quindi si mise

alla ricerca di questa sostanza: montò un contatore Geiger (quello strumento che fa «clic» in presenza di radioattività) sul cruscotto della sua Pontiac e iniziò a battere in lungo e in largo le campagne del Michigan, convinto che in quel modo si sarebbe imbattuto in un giacimento di uranio. Ma ammesso e non concesso che ci fosse riuscito, questo elemento in natura si trova soprattutto sotto forma di uranio 238, più debolmente radioattivo del 235 (la scoperta del procedimento per arricchire l'uranio separando il 235 dal 238, chimicamente identici, fu addirittura uno degli obiettivi del Progetto Manhattan). Alla fine David riuscì a mettere le mani su del minerale d'uranio tramite un poco raccomandabile fornitore della Repubblica Ceca. Ma anche questo era non arricchito. Dovette dunque abbandonare questa strada e costruirsi un «cannone a neutroni» per bombardare il torio e ottenere in tal modo l'uranio 235. Ma il cannone funzionava male.

A leggere gli articoli sensazionalistici scritti in seguito, sembrerebbe che David sia arrivato a un passo dal costruire un reattore nucleare nel capanno degli attrezzi. In realtà era molto distante dall'obiettivo. Il celebre esperto nucleare Al Ghiorso, che abbiamo già incontrato, calcolò che il ragazzo aveva davvero troppo poco materiale per innescare la fissione, visto che ne sarebbe servita una quantità un miliardo di miliardi di volte maggiore. Le sostanze da lui acquisite erano sicuramente pericolose, e forse gli hanno rovinato la salute. Ma farsi del male con la radioattività è facile, e ci sono tanti modi per avvelenarsi con questi elementi; il difficile, anzi difficilissimo, è utilizzarli nel modo corretto, con tempi e strumenti adatti, per ricavarne qualcosa di utile.

Alla fine la polizia scoprì cosa stava combinando, ma non lo arrestò. Fu visto una notte mentre si aggirava nei pressi di una macchina parcheggiata e fermato con il sospetto che fosse un ladro di gomme. Dopo un energico interrogatorio, David ammise con sciocco candore che la sua Pontiac era piena di materiale radioattivo; in macchina i poliziotti trovarono anche provette di una sostanza non identificata. Portato al commissariato, il ragazzo fu abbastanza furbo da non raccontare del reattore nel capanno degli attrezzi; tra l'altro

lo aveva in gran parte smantellato, perché aveva paura di essersi spinto troppo in là e temeva di lasciare un cratere. Per mesi, varie polizie e agenzie federali si arrovellarono per capire cosa fare di quel tipo (nessuno aveva mai cercato di salvare illegalmente il mondo con il potere dell'atomo). Nel frattempo la madre di David, temendo che la casa fosse condannata alla demolizione, una notte entrò di soppiatto nel laboratorio del figlio e gettò quasi tutto nella spazzatura. Mesi dopo, la polizia si decise finalmente a perquisire la zona in tenuta anticontaminazione: anche dopo tutto quel tempo, i contenitori vuoti e gli attrezzi mostravano livelli di radioattività mille volte superiori al normale.

Poiché fu provato che non aveva cattive intenzioni (e l'11 settembre era di là da venire), David non fu condannato alla prigione. Poco dopo, diplomatosi alla scuola superiore, litigò con i genitori e si arruolò in Marina, sperando di essere destinato a lavorare sui sottomarini nucleari. Vista la sua storia personale, i superiori pensarono bene di accontentarlo a metà: imbarcato, ma con mansioni generiche e ben lontano dai reattori. Purtroppo, nella sua vita non ebbe mai l'opportunità di lavorare a un progetto scientifico in un ambiente controllato e con la supervisione di persone più esperte – chissà, forse con il suo entusiasmo e nascente talento avrebbe potuto creare qualcosa di buono.

La storia del boy-scout-radioattivo ha un epilogo triste. Congedato dalla Marina, David tornò nella sua cittadina nei dintorni di Detroit e si mise a vivere di espedienti. Dopo qualche anno di relativa quiete, nel 2007 fu arrestato mentre cercava di rubare i rilevatori di fumo installati nel suo condominio. Era un reato più grave di quanto potesse sembrare, visto il suo passato, perché in quegli apparecchi è presente un elemento radioattivo, l'americio. Questa sostanza è una fonte affidabile di particelle alfa, che grazie a un campo elettrico si fanno circolare nel rilevatore. In presenza di fumo, poiché questo assorbe le particelle alfa, la corrente si interrompe e scatta l'allarme. David voleva usare l'americio per costruire un rudimentale cannone a neutroni, visto che la radiazione emessa da questa sostanza riesce a strappare

neutroni da qualche elemento. Lo avevano già beccato una volta, al tempo dei boy-scout, mentre cercava di rubare i rilevatori in una colonia estiva, da cui era stato espulso.

La foto segnaletica di David, pubblicata da vari giornali, mostra la sua faccia da angelo biondo sfigurata da ulcere rosso fuoco, quasi come quella di un adolescente affetto da una grave forma d'acne che si sia strizzato i brufoli fino a farli sanguinare. Ma nel 2007 aveva trentun anni, e l'ipotesi più probabile è che si trattasse della conseguenza di altri esperimenti nucleari. La chimica aveva tradito ancora una volta il povero David Hahn, che non si rese mai conto di quanto la tavola periodica sia piena di inganni. Quel volto sfregiato era un severo monito del fatto che gli elementi pesanti al fondo della tavola non sono tossici nel senso classico del termine, come quelli della banda degli avvelenatori, ma sono abbastanza subdoli da rovinarci la vita.

PRENDA DUE ELEMENTI E MI CHIAMI DOMATTINA

²⁹ Cu 63.546	²³ V 50.941	⁶⁴ Gd 157.253	⁴⁷ Ag 107.868	¹⁶ S 32.066	⁴⁵ Rh 102.905
-------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------

La tavola periodica è proteiforme, e la maggior parte dei suoi elementi sono più complicati di quei criminali incalliti della banda degli avvelenatori. Elementi di cui poco si parla agiscono in modo misterioso nell'organismo – con effetti spesso nefasti, ma talvolta benefici. In certe condizioni un elemento solitamente tossico può rivelarsi un farmaco salvavita, ed elementi metabolizzati in modi inattesi possono fornire ai clinici nuovi strumenti diagnostici. L'interazione tra lo studio degli elementi e lo studio dei farmaci può persino aiutarci a capire come la vita sia emersa a partire dalle inerti scorie chimiche della tavola periodica.

La convinzione che alcuni elementi abbiano proprietà medicamentose è sorprendentemente vecchia. Nell'antica Roma si diceva che gli ufficiali dell'esercito godessero di miglior salute rispetto ai semplici soldati perché pranzavano su piatti di argento. I pionieri che colonizzarono il selvaggio Ovest non avevano certo bisogno di monete d'argento, eppure quasi tutte le famiglie ne possedevano almeno una, che tenevano in una brocca piena di latte: lo scopo non era sottrarla agli sguardi dei ladri, ma impedire, secondo le loro credenze, che il latte andasse a male. Il celebre Tycho Brahe, astronomo e aristocratico danese, perse a vent'anni nel 1566 il setto nasale in un duello per futili motivi e per nascondere

la menomazione si fece fare un naso finto d'argento – metallo costoso, alla moda e, cosa ancora più importante, dal potere antisettico. L'unico problema era il suo colore palesemente metallico, per cui Brahe portava sempre con sé un vasetto di fondotinta con cui camuffava la protesi nasale.

Secoli dopo, un archeologo ficcanaso aprì la tomba dell'astronomo danese e trovò che la cavità nasale del teschio era bordata di verde, il che voleva dire che probabilmente la placca sul viso di Brahe non era d'argento ma di rame, metallo più leggero ed economico (o magari cambiava il naso come la camicia, a seconda dell'ambiente).¹ Rame o argento che fosse, era comunque una buona scelta, perché la scienza moderna ha confermato che il potere antisettico di questi due metalli non è solo una leggenda popolare ma ha basi concrete. Oggi l'argento è troppo costoso per farne un uso generalizzato, mentre il rame trova impiego nelle condutture degli impianti sanitari, dove spesso il suo utilizzo è obbligatorio per motivi di igiene. La carriera del rame nel mondo della sanità pubblica in America iniziò nel 1976, poco dopo il bicentenario dell'indipendenza. Nel luglio di quell'anno scoppiò una misteriosa epidemia tra gli ospiti di un albergo a Filadelfia. Un batterio mai visto prima di allora si era insinuato nell'impianto di condizionamento, si era allegramente riprodotto in quell'ambiente umido e si era diffuso nelle camere, portato da sbuffi di aria fredda. Nel giro di pochi giorni centinaia di ospiti mostrarono i sintomi di una misteriosa influenza, e trentaquattro ne morirono. Poiché nell'albergo si teneva una riunione dell'American Legion, un'associazione di reduci, il morbo fu battezzato «legionellosi» o «malattia del legionario» (anche se non tutte le vittime facevano parte di quel gruppo).

Dopo questa tragedia i governi spinsero per approvare leggi relative all'igiene delle condutture, e l'uso del rame si dimostrò la soluzione più semplice ed economica. A contatto con questo metallo, batteri, funghi e alghe ne assorbono gli atomi, vanno incontro a seri danni metabolici e nel giro di poche ore muoiono soffocati. Per contro, le cellule umane non subiscono danni. Questa proprietà, detta «oligodi-

namica», rende certi metalli più sterili di legno e plastica, ed è la ragione per cui negli spazi pubblici le maniglie delle porte e i corrimano sono appunto metallici. Spiega anche perché le monete, oggetti che passano di mano in mano, negli Stati Uniti contengono alte percentuali di rame (o ne sono ricoperte, come le monetine da un centesimo).² Le condotte in rame presenti negli impianti di condizionamento hanno anche la funzione di ripulire l'aria da certi malvagi microrganismi che si nascondono negli anfratti.

Ugualmente letale per le cellule piccole, brutte e cattive (anche se un po' più pasticcione) è il vanadio, elemento numero 23. Il suo potere battericida ha anche un sorprendente effetto collaterale: è infatti il più efficace tra gli spermicidi. Le altre sostanze in questa categoria agiscono dissolvendo la membrana lipidica che circonda gli spermatozoi, in un certo senso sbudellandoli. Sfortunatamente, però, tutte le cellule hanno una qualche membrana lipidica, e spesso gli spermicidi tradizionali irritano l'epitelio della vagina e rendono le donne suscettibili a infezioni come la candidosi. Non piacevole, come effetto collaterale. Il vanadio non perde tempo con queste bazzecole e taglia la testa al toro, letteralmente: tronca alla base la coda degli spermatozoi, che non possono fare altro che girare in tondo come barche con un solo remo.³

Il vanadio non è stato immesso sul mercato come spermicida perché – e questo è un principio valido per tutta la scienza medica – sapere che un certo elemento ha effetto sul materiale biologico in provetta non implica affatto che lo si possa sfruttare per creare un farmaco utilizzabile senza pericoli dagli esseri umani. Sarà anche potente, ma il metabolismo del vanadio nel nostro organismo solleva ancora molti dubbi. Tra i suoi vari effetti c'è quello di alzare o abbassare misteriosamente i livelli di glucosio nel sangue, ed è per questo che l'acqua che sgorga alle pendici del Fujiyama (per lo meno così è scritto sull'etichetta), ricca di vanadio, si vende come cura per il diabete, nonostante sia leggermente tossica.

Altri elementi invece ce l'hanno fatta e sono diventati medicine a tutti gli effetti, come il gadolinio, che da sostanza del tutto inutile si è trasformata in potenziale cura per il cancro.

La sua utilità biologica è figlia della sua abbondanza di elettroni spaiati. Bisogna sapere che gli elettroni, nonostante tendano a scappare per legarsi ad altri atomi, a casa loro cercano di stare il più possibile lontani gli uni dagli altri. Come ricorderete vivono in vari livelli negli orbitali, e c'è una regola per cui in ogni orbitale non possono stare più di due elettroni. E strano, sembra proprio che si comportino come i passeggeri degli autobus: prima cercano di sedersi da soli e poi, solo quando non ci sono altre possibilità, si accomodano accanto a un posto occupato. Analogamente, gli elettroni si infilano in un orbitale dopo l'altro e solo quando tutti sono occupati da almeno una particella acconsentono a condividere lo spazio.⁴ E sono anche schizzinosi, perché vanno a sedersi solo accanto a un elettrone che ha «spin» opposto al loro. Lo spin è una proprietà particolare legata al campo magnetico; è un legame che può sembrare strano, ma bisogna sapere che a ogni particella carica che ruota è associato un campo magnetico, come se si trattasse di microscopiche Terre. Quando due elettroni di spin opposto diventano coinquilini, i loro campi magnetici si annullano a vicenda.

Il gadolinio, situato nel bel mezzo delle terre rare, ha il massimo numero di elettroni spaiati, il cui campo, quindi, non viene cancellato. Ciò significa che è un materiale fortemente magnetico e questo lo rende utile nella tecnica diagnostica detta «*imaging* a risonanza magnetica» (*Magnetic Resonance Imaging*, MRI). Durante la risonanza i tessuti in esame vengono immersi in un potente campo magnetico, che a un certo punto viene disattivato; le cellule allora si rilassano e si riorientano in modo casuale. In una sostanza fortemente magnetica, come il gadolinio, il processo di riallineamento è più lento, e la MRI sfrutta proprio questa differenza. Aggiungendo gadolinio agli agenti che prendono a bersaglio i tumori, sostanze che ricercano le cellule cancerose e si legano solo a esse, i medici possono individuare più facilmente la zona malata. Grosso modo, il gadolinio accentua il contrasto tra il tessuto sano e quello malato, e a seconda del tipo di macchina utilizzata, il tumore risalterà come un'isola bianca in un mare di grigio o apparirà come una nuvola scura in un cielo più chiaro.

Ma il gadolinio potrebbe avere ben altro ruolo nella lotta contro il cancro, oltre a facilitarne la diagnosi: aiutarci a uccidere le cellule tumorali grazie a un'intensa radiazione selettiva. Gli elettroni spaiati di questo elemento gli consentono di assorbire grandi quantità di neutroni, particelle che i tessuti sani non digeriscono troppo bene. In questo modo il gadolinio diventa radioattivo e le sue emissioni distruggono le cellule che lo circondano. Di solito un'esplosione nucleare nel nostro organismo, per microscopica che sia, non è una buona cosa, ma se riuscissimo in qualche modo a convincere i tumori ad assorbire gadolinio, la distruzione sarebbe a fin di bene. Come ulteriore bonus, questo elemento è in grado di inibire l'attività delle proteine che riparano il DNA, impedendo così alle cellule tumorali di rimettere in sesto i cromosomi colpiti dalle radiazioni. Chi ha avuto il cancro lo sa bene: un attacco mirato di questo tipo sarebbe un miglioramento inimmaginabile rispetto alla chemioterapia e radioterapia tradizionali, che distruggono il tumore ma anche tutto ciò che lo circonda. A un bombardamento a tappeto si sostituirebbe un attacco con bombe intelligenti, un'operazione chirurgica senza chirurgo.⁵

Ciò non vuol dire che l'elemento numero 64 sia la panacea. Gli atomi si insinuano in vari modi nel nostro organismo, e anche il gadolinio, come tutti i metalli di cui il corpo non ha in genere bisogno, ha effetti collaterali. Per esempio si accumula nei reni di quei pazienti che non riescono a smaltirlo; altri hanno lamentato rigidità muscolare estrema (quasi a livello di *rigor mortis*), ispessimento della pelle, respiro difficoltoso. Basta fare un giro in internet per accorgersi che esiste una nutrita schiera di persone che sostengono di aver avuto la vita rovinata dal gadolinio (in genere assunto in occasione di una risonanza magnetica).

In effetti la rete è piena di interessanti teorie relative alle proprietà medicinali di certe strane sostanze: ogni elemento che non sia un metallo tossico (e in qualche caso anche questi) ha un sito di medicina alternativa dedicato alla sua commercializzazione come supplemento dietetico.⁶ Forse non è una coincidenza il fatto che su internet prosperino anche studi legali arretranti pronti a far causa a chiunque per

avvelenamento da metalli pesanti. Questi guru del salutismo alternativo sembrano esser riusciti a fare molti proseliti – di sicuro più degli avvocati –, tanto che le cure a base di elementi chimici (per esempio lo zinco, da assumere in pasticche) stanno diventando sempre più popolari, soprattutto quelle che riprendono antiche credenze. Nei secoli scorsi si è in genere passati dal seguire i rimedi della nonna al comprare le medicine in farmacia, ma la sfiducia nella scienza occidentale sta portando fasce della popolazione a un ritorno all'antico, per esempio a ingerire argento pensando di curarsi.⁷

L'assunzione di argento ha comunque una base scientifica, perché questo metallo ha gli stessi effetti antisettici del rame. La differenza tra i due elementi è presto detta: l'argento colora la pelle di blu. Per sempre. Sembra ridicolo, ma è tragico: «blu» è una sintesi imprecisa, perché la tonalità assunta dai malcapitati non è un allegro azzurrino, stile Puffi, ma un impressionante blu-grigiastro, stile zombi.

Fortunatamente questa malattia, detta argiria, non è mortale e non causa danni permanenti agli organi. A inizio Novecento un tale si guadagnava da vivere come «uomo blu» nei circhi, dopo un'intossicazione dovuta al troppo nitrato d'argento preso per curare (senza successo) la sifilide. Ai giorni nostri c'è poi il caso di Stan Jones, un ricco e robusto signore del Montana, fieramente antistatalista e individualista, che nel 2002 e nel 2006 si candidò al Senato nonostante avesse la pelle di uno sconcertante colore blu. C'è da dire che Jones si prendeva in giro con lo stesso gusto con cui lo faceva la stampa. Quando gli chiesero cosa rispondeva alla gente che lo fermava per strada, replicò senza fare una piega: «Gli dico che sto provando il costume di carnevale».

Jones non aveva remore nel raccontare la causa della sua argiria. Avido lettore di tutte le teorie cospirazioniste, nel 1995 si era convinto che il «baco del millennio» del 2000 si sarebbe risolto in un'apocalisse e che il problema principale sarebbe stato la mancanza di antibiotici nel mondo devastato. Meglio preparare il sistema immunitario al peggio, si disse, e quindi iniziò a preparare un intruglio da stregoni in giardino: immergeva fili di argento in acqua e vi faceva

passare corrente grazie a una batteria da 9 volt – notate che questo metodo è sconsigliato anche dai più ferventi evangelisti della cura all'argento, perché con correnti così intense si disciolgono troppi ioni in acqua. Jones beve fiducioso la sua pozione per quattro anni e mezzo, fino al 1° gennaio del 2000, giorno in cui il baco del millennio si dissolse come neve al sole.

Nonostante questa figuraccia e il fatto che tutti lo additino come un mostro, Jones non si pente di quel che ha fatto. Tra l'altro la Food and Drug Administration sembra condividere le sue idee antistataliste, perché non interviene a regolamentare le cure alternative, salvo in presenza di elementi davvero dannosi o pubblicità ingannevole. Dopo aver perso le elezioni del 2002, Jones disse in un'intervista: «L'overdose di argento è colpa mia, ma sono ancora convinto che sia il miglior antibiotico al mondo... Se ci fosse un attacco all'America con armi batteriologiche o se mi venisse qualche malattia, ricomincerei subito a prenderlo. Essere vivi è più importante che avere la faccia viola».

Nonostante le convinzioni di Stan Jones, le medicine più efficaci oggi a nostra disposizione non sono elementi semplici ma composti complessi. Nella storia della farmacologia moderna, però, si nota che alcune sostanze insospettabili hanno avuto un ruolo di primo piano. Le vicende che ora racconteremo hanno come protagonisti scienziati eroici e poco noti al grande pubblico, come Gerhard Domagk, ma tutto partì dal celebre Louis Pasteur e dalla sua scoperta di una strana peculiarità delle molecole biologiche, essenza della materia vivente: la cosiddetta «chiralità», ovvero il presentarsi in versioni destre e sinistre, come le mani.

La maggioranza di noi è destrimane, ma nel profondo non è così: siamo tutti mancini. Tutti gli aminoacidi e le proteine del nostro organismo sono mancini, o come si dice «levogiri» – anzi, praticamente tutte le proteine trovate nella materia organica si sono sempre dimostrate levogire. Se un giorno gli scienziati trovassero un microbo in un meteorite o sulla Luna, la prima (o quasi) caratteristica che

verificherebbero sarebbe la chiralità delle sue proteine: se fossero levogire il microbo potrebbe essere di origine terrestre, se fossero destrogire sarebbe sicuramente alieno.

Pasteur si accorse del fenomeno all'inizio della sua carriera scientifica, studiando umili forme di vita. Nel 1849, a ventisei anni, fu incaricato da un produttore di vino di occuparsi dell'acido tartarico, un innocuo sottoprodotto del processo di vinificazione creato dalla reazione tra l'uva fermentata e i lieviti presenti nel mosto, che si deposita sotto forma di cristalli sul fondo delle botti. L'acido tartarico ha una curiosa proprietà: se lo sciogliete in acqua e fate passare un fascio di luce in verticale nel recipiente che lo contiene, vi accorgete che all'interno il raggio tende a deflettere in senso orario, come se ruotaste il quadrante di un orologio. Questo solo nel caso in cui l'acido sia derivato da un processo naturale, perché se è prodotto industrialmente non si comporta così e il raggio rimane dritto. Pasteur volle vederci chiaro.

Capì subito che la differenza non aveva nulla a che fare con la struttura chimica dei due tipi di acido, che reagivano in modo identico e avevano identica composizione. Solo esaminando i cristalli al microscopio si accorse che quelli dell'acido naturale erano tutti girati nella stessa direzione, come tanti minuscoli pugni di una mano sinistra, mentre quelli dell'acido industriale si presentavano girati in entrambe le direzioni, con una miscela di destrogiri e levogiri. Affascinato dalla scoperta, Pasteur si mise a separare a mano i cristalli con un paio di pinzette, dividendoli in due mucchietti a seconda della loro chiralità – un lavoro di inimmaginabile noia. Disciolse poi in acqua i due campioni e li sottopose al fascio di luce: proprio come aveva intuito, i cristalli naturali provocavano una deviazione in senso orario, quelli destrogiri in senso antiorario, esattamente dello stesso angolo.

Pasteur raccontò queste scoperte al suo maestro Jean-Baptiste Biot, che per primo aveva osservato il fenomeno della luce deviata. L'anziano fisico si fece mostrare i dati e quasi si commosse di fronte alla semplice eleganza dell'esperimento. In soldoni, il giovane allievo aveva dimostrato che l'acido tartarico si presenta in due forme uguali e

contrarie, l'una immagine speculare dell'altra. Pasteur generalizzò l'idea ad altri composti e mostrò che la materia organica ha una forte predilezione per molecole con una certa chiralità.⁸

In seguito lo scienziato francese disse di aver avuto un pizzico di fortuna ad assisterlo nel suo geniale esperimento. La chiralità dell'acido tartarico è facilmente osservabile, al contrario di ciò che accade per la maggioranza delle molecole. Inoltre Pasteur poteva appoggiarsi a Biot, esperto di ottica, per i suoi esperimenti con la luce, anche se nessuno a priori avrebbe immaginato una relazione con la chiralità delle molecole. Come ulteriore elemento di fortuna, anche il tempo atmosferico aiutò l'impresa. Durante la preparazione dell'acido tartarico industriale, Pasteur l'aveva messo a raffreddare sul davanzale di una finestra; questa sostanza si divide nelle sue componenti destro- e levogire solo se la temperatura non supera i 26 °C, dunque se quel giorno avesse fatto più caldo la scoperta non sarebbe mai avvenuta. Ma il grande scienziato sapeva che non era solo questione di fortuna: come ebbe a dire in seguito, «il caso aiuta solo le menti già pronte».

E la mente di Pasteur era abbastanza pronta da sfruttare questo e altri colpi di fortuna che l'avrebbero accompagnato nella sua carriera. Anche se non fu il primo, dimostrò con un ingegnoso esperimento a base di liquidi di coltura chiusi in recipienti ermetici che l'aria non porta nessun «elemento vitale», nessuno spirito in grado di creare la vita dalla materia inorganica. Per questo bastano, per vie spesso misteriose, gli elementi della tavola periodica. Pasteur fu anche il padre, ovviamente, della pastorizzazione, il processo che uccide i microbi nocivi con il calore, e del vaccino antirabbico. Famosa è la storia dello scienziato che salva un ragazzino morso da un cane rabbioso, vicenda che lo trasformò in eroe nazionale e gli assicurò fama imperitura quando fondò un istituto di ricerca presso Parigi, che prese poi il suo nome.

Forse non è una coincidenza il fatto che proprio all'Istituto Pasteur negli anni Trenta del Novecento un gruppo di scienziati, mossi anche da sentimenti non nobili di vendetta, capì i meccanismi con cui funzionava il primo farmaco

integralmente di sintesi, creato in laboratorio, i cui effetti erano stati scoperti da uno degli eredi intellettuali di Pasteur stesso: Gerhard Domagk, il più grande microbiologo del suo tempo.

Nei primi giorni di dicembre del 1935, la figlia di Domagk, Hildegard, inciampò mentre scendeva le scale nella sua casa di Wuppertal. Purtroppo il grosso ago da cucito che aveva in mano le si conficcò nel palmo dalla parte dell'asola e si spezzò nella carne. Un medico estrasse il frammento metallico, ma qualche giorno dopo Hildegard fu debilitata da una forte febbre, dovuta a una grave infezione da streptococco diffusa a tutto il braccio. La situazione peggiorava di ora in ora, con grande angoscia di Domagk padre: all'epoca la prognosi per quel tipo di infezioni era, tristemente, quasi sempre infausta. I batteri si moltiplicavano senza sosta e non c'era medicina in grado di fermare la loro rapace conquista.

C'era però un nuovo composto chimico che forse dava qualche speranza. Si trattava in realtà di un colorante industriale, un pigmento rosso che Domagk stava testando nel suo laboratorio senza farlo troppo sapere in giro. Il 20 dicembre 1932 aveva inoculato in due gruppi di topi una dose di streptococchi pari a dieci volte quella letale. A uno solo aveva anche somministrato il prontasil, il colorante di cui sopra, a distanza di novanta minuti dalla prima iniezione. La vigilia di Natale tornò in laboratorio e vide che tutti i topi del primo gruppo erano morti, mentre tutti quelli del secondo erano vivi. La carriera di Domagk, fino ad allora un oscuro chimico come tanti, ebbe una svolta.

Mentre vegliava la povera Hildegard, continuava a pensare al prontasil. Questa sostanza, che contiene un atomo di zolfo (caratteristica poco comune nelle molecole organiche), mostrava virtù impreviste. Gli scienziati tedeschi dell'epoca ritenevano, stranamente, che i coloranti uccidessero i germi cambiando il colore dei loro organi vitali; ma il prontasil, letale per i microbi negli organismi viventi, non aveva alcun effetto su quelli coltivati in provetta: i batteri continuavano a nuotare allegri nel mezzo di coltura diventato rosso. Nessuno

sapeva il perché, e a causa di questo mistero molti colleghi di altri Paesi avevano criticato la «chemioterapia tedesca» come metodo poco valido per la cura delle infezioni rispetto alla più efficace demolizione chirurgica. Anche Domagk non era convinto fino in fondo. Tra il 1932 e il 1935, tra gli esperimenti con i topi e l'incidente di Hildegard, si erano effettuati con successo test clinici sugli esseri umani, ma gli effetti collaterali si erano dimostrati a volte molto seri (per non parlare del fatto che chi assumeva il farmaco diventava rosso in volto come un gambero). Domagk non si faceva scrupolo a rischiare la vita dei volontari nei test per il bene della scienza, ma farlo sulla pelle della figlia era tutta un'altra questione.

Era un dilemma simile a quello fronteggiato da Pasteur cinquant'anni prima, quando una giovane donna gli aveva portato il figlio così malridotto dopo l'attacco di un cane rabbioso da reggersi a malapena in piedi. Lo scienziato francese gli aveva inoculato un vaccino che prima di allora era stato testato solo sugli animali e il ragazzo era sopravvissuto.⁹ Pasteur non era autorizzato all'esercizio della professione medica, ma si assunse ogni responsabilità, anche penale, pur di provare la nuova cura. In caso di fallimento, Domagk avrebbe dovuto sopportare in più il peso della colpa di aver ucciso la figlia. Ma mentre Hildegard peggiorava sempre più, la mente del padre ritornava a quella vigilia di Natale e a quelle due gabbie, una piena di roditori iperattivi e l'altra di tanti piccoli cadaveri. Quando il medico che curava la ragazza annunciò che avrebbe dovuto amputarle il braccio, Domagk abbandonò ogni remora e, in aperta violazione di ogni immaginabile protocollo di ricerca, sottrasse qualche dose del farmaco dal laboratorio e iniettò quel liquido color sangue nel corpo di sua figlia.

All'inizio Hildegard sembrò peggiorare. Nelle due settimane successive alla somministrazione, la temperatura continuava ad alzarsi e ad abbassarsi di colpo. Poi un giorno, esattamente tre anni dopo l'esperimento con i topi del padre, si stabilizzò. Era chiaro che ce l'aveva fatta, e senza perdere il braccio.

Tenendo a bada l'entusiasmo, Domagk non raccontò subito ai colleghi l'esito del suo esperimento clandestino, per

non influenzare i risultati dei test clinici ufficiali che nel frattempo stavano andando avanti. Ma una notizia così clamorosa non rimase segreta a lungo. Era nato il primo, vero antibatterico. Oggi è difficile capire quanto fosse importante per l'epoca tale scoperta. Il mondo del 1935 era per molti aspetti moderno e simile al nostro: ci si poteva spostare in modo efficiente e per lunghe distanze grazie ai treni e si riusciva a comunicare rapidamente in ogni luogo grazie al telegrafo. La vera differenza era in campo medico, visto che allora bastava una semplice infezione per essere condannati a morte. Con l'arrivo del prontasil, flagelli che avevano mietuto vittime fin dai tempi antichi iniziarono a sembrare vulnerabili, forse anche debellabili per sempre. Rimaneva solo da scoprire come il nuovo farmaco agisse sui batteri.

So che un autore serio non dovrebbe comportarsi così, ma confesso che vi ho detto una piccola bugia quando ho parlato della regola dell'ottetto, nel capitolo 1. Mi secca ammettere che ci sono eccezioni a questa regola e che il prontasil è efficace proprio perché non la rispetta. Quando un atomo di zolfo si trova in presenza di elementi forti a caccia di elettroni, cede tutti i sei che si trovano nel suo livello energetico più alto, ne «promuove» altri da livelli più bassi e si trova non con un ottetto ma con quello che potremmo chiamare «dozzinetto», cioè con dodici elettroni. Nella molecola di prontasil, lo zolfo mette in comune un elettrone con il benzene (composto del carbonio dalla forma ad anello), uno con una corta catena di atomi di azoto e due ciascuno con due atomi di ossigeno, avidi di elettroni. Il totale è di sei legami con dodici particelle, una configurazione piuttosto complessa che solo lo zolfo è in grado di padroneggiare. Sta nella terza fila della tavola periodica, dunque il suo atomo è grande abbastanza per accogliere tutti quegli elettroni e tenere insieme le varie parti della molecola; e al tempo stesso è abbastanza piccolo per entrare di misura in quella complessa composizione tridimensionale.

Domagk era un batteriologo e non aveva nozioni aggiornate di chimica. Alla fine decise di rendere pubblici i suoi risultati nella speranza che i colleghi più esperti lo aiutassero

a capire il funzionamento del prontosil. Ma non aveva fatto i conti con l'importanza economica di quella molecola. La grande industria chimica per cui lavorava, la I.G. Farbenindustrie (o IGF, che qualche anno più tardi avrebbe prodotto lo Zyklon B su ricetta di Fritz Haber), già commercializzava il prontosil come colorante e aveva fatto richiesta per un'estensione del brevetto a fini farmaceutici subito dopo il Natale del 1932. La dimostrazione dell'effetto negli esseri umani spinse l'azienda a difendere con le unghie quel prodotto. Così a Domagk fu ordinato di aspettare a pubblicare i risultati fino alla concessione definitiva del brevetto; questo ritardo attirò feroci critiche sia sulla IGF sia sullo scienziato, perché la gente continuava a morire mentre gli avvocati disquisivano in punta di diritto. Alla fine fu concesso a Domagk di pubblicare un articolo su un'ignota rivista tedesca, dove nessun ricercatore della concorrenza l'avrebbe mai trovata.

Nonostante le precauzioni cliniche e le aspettative straordinarie, all'inizio il prontosil non ebbe successo commerciale. Molti specialisti erano dubbiosi sui meccanismi con cui agiva la molecola, e c'era chi pensava che non fosse proprio efficace. La svolta avvenne quando il farmaco salvò la vita del presidente Roosevelt, che nel 1936 fu colpito da una grave infezione da streptococco alla gola. La notizia si meritò la prima pagina del «New York Times»: il prontosil e il suo solitario atomo di zolfo si erano guadagnati la stima del mondo. La IGF si preparava a incassare cifre colossali, ma Domagk continuava a fare la figura dell'alchimista, perché nessuno ancora riusciva a capire il meccanismo d'azione del farmaco. D'altro canto, quando le vendite di un prodotto quintuplicano nel giro di un anno, come accadde nel 1936, a chi importa come funziona?

Nel frattempo i ricercatori dell'Istituto Pasteur si erano procurati in qualche modo l'articolo invisibile di Domagk. Spinti da una volontà di rivalsa motivata in parti uguali dalla diffidenza nei confronti delle grandi aziende e dei brevetti (che a loro giudizio rallentavano la ricerca di base) e dall'odio antitedesco, i francesi si misero al lavoro per rompere le uova nel paniere alla IGF. (Non bisogna mai escludere l'astio come motivazione per le grandi scoperte).

Il prontasil era efficace come promesso sui batteri, ma analizzando il suo percorso all'interno dell'organismo il gruppo dell'Istituto Pasteur scoprì varie peculiarità. In primo luogo non era lui a combattere in prima persona i germi ma la sulfonammide, una molecola che i mammiferi riescono a ricavare dal prontasil spezzandolo in due. Questo spiegava perché il farmaco non fosse efficace in coltura, dove veniva usato senza prima averlo «attivato» biologicamente. La sulfonammide, che ha anche lei un atomo di zolfo a cui si attaccano vari gruppi, interferisce con la sintesi dell'acido folico, una sostanza essenziale per il nutrimento e la replicazione delle cellule. I mammiferi non sono in grado di produrla in modo autonomo e devono assumerla con gli alimenti, il che significa che la sulfonammide non interferisce con le loro cellule. I batteri invece devono sintetizzarsela da soli, altrimenti non possono iniziare la mitosi e moltiplicarsi. Dunque il prontasil non era tanto un killer di germi, quanto un efficace anticoncezionale.

Queste scoperte furono salutate con stupore, e non solo dalla comunità scientifica. La molecola rivelatasi più importante, la sulfonammide, era stata sintetizzata anni prima e brevettata come colorante nel 1909, proprio dalla IGF.¹⁰ In quei quasi trent'anni nessuno se ne era troppo occupato, tanto che il brevetto era ormai scaduto. Il gruppo dell'Istituto Pasteur pubblicò i suoi risultati ed ebbe la crudele soddisfazione di rendere universalmente disponibile un modo per aggirare il brevetto sul prontasil. Domagk e la IGF naturalmente si opposero, sostenendo che il componente attivo era il prontasil stesso e non la sulfonammide. Ma le prove erano schiaccianti, e dopo che altri esperimenti ebbero confermato la scoperta dei francesi, i tedeschi cedettero. La IGF perse i milioni investiti nella ricerca e registrò mancati profitti per forse centinaia di milioni, visto che la concorrenza non perse tempo e si mise a produrre i nuovi farmaci, detti «sulfamidici».

Per quanto Domagk si ritenesse sconfitto, i colleghi riconobbero il valore della sua scoperta e gli assegnarono il Nobel per la medicina nel 1939, appena sette anni dopo quel Natale in cui aveva trovato la gabbia con i topi vivi. Ma la vincita del premio riuscì a peggiorargli la vita. Hitler era

infuriato con l'Accademia svedese perché nel 1935 aveva assegnato il Nobel per la pace a un giornalista antinazista, dunque ricevere il prestigioso premio era diventato praticamente illegale in Germania. Per tale «crimine» Domagk fu arrestato e malmenato dalla Gestapo. Allo scoppio della seconda guerra mondiale, egli si riabilitò agli occhi del regime quando riuscì a convincere gli ufficiali nazisti (inizialmente assai scettici) che i suoi farmaci potevano guarire dalla cancrena i soldati feriti. Ma anche gli Alleati avevano i sulfamidici, medicine che nel 1942 curarono Winston Churchill, l'uomo la cui missione era distruggere la Germania.

Forse la conseguenza più spiacevole delle sue scoperte fu che il farmaco che aveva salvato la vita a sua figlia divenne ben presto «di moda». Una moda pericolosa. La gente pretendeva i sulfamidici, visti ormai come un elisir di lunga vita, anche per un banale raffreddore o mal di gola. Negli Stati Uniti la storia virò in tragedia quando alcuni rivenditori senza scrupoli approfittarono di questa mania collettiva per smerciare sulfamidici tagliati con l'antigelo. Si ebbero centinaia di morti, a ulteriore riprova del fatto che di fronte a una presunta panacea la credulità umana non conosce limiti.

I farmaci antibiotici furono il culmine delle ricerche microbiologiche iniziate da Pasteur. Ma non tutte le malattie sono causate dai germi: molte derivano da problemi ormonali o da disfunzioni in qualche processo biochimico. La medicina moderna poté affrontare questa seconda classe di malanni solo dopo aver accettato l'altra grande scoperta di Pasteur: la chiralità delle molecole biologiche. Un detto famoso dello scienziato francese, di poco successivo a quello sul ruolo della fortuna che abbiamo visto sopra, ci ispira un senso di profonda meraviglia, perché ha a che fare con il vero mistero della conoscenza: cosa rende vivo ciò che è vivo. Dopo aver scoperto che le molecole organiche hanno tutte, a livello profondo, la stessa preferenza per un certo verso, Pasteur si spinse fino ad affermare che la chiralità era l'unica «linea di demarcazione netta che al presente si può

tracciare per separare la chimica della materia inorganica da quella della materia viva». ¹¹ Se vi siete mai chiesti cosa sia la vita, ecco qui una bella risposta da chimico.

Questo pronunciamento di Pasteur ha guidato la ricerca biochimica per un secolo, nel corso del quale si sono compiuti progressi straordinari nello studio delle malattie. E ha pure indicato che la strada per la cura, il vero obiettivo, passava per l'utilizzo di molecole chirali, cioè era lunga e complicata: la saggezza di Pasteur è anche un sottile accenno alla nostra ignoranza in materia. Il grande scienziato francese ci indica qual è il fossato che separa la chimica della materia inerte da quella della vita; e ci dice anche che non è facile costruire un ponte.

Questo ovviamente non ha fermato le ricerche. Alcuni scienziati sono riusciti a ottenere sostanze chirali distillando ormoni animali, ma questa strategia si è rivelata troppo faticosa. (Negli anni Venti del secolo scorso due chimici di Chicago furono i primi a isolare il testosterone puro, ma per ricavarne poche decine di grammi dovettero frullare e filtrare tonnellate di testicoli di toro, che si procuravano in un macello). L'altro possibile *modus operandi* era ignorare il dettato pasteuriano e fabbricare in laboratorio sia la versione levogira sia quella destrogira delle molecole organiche. Era un compito assai più semplice, perché le reazioni coinvolte producono l'una o l'altra versione con uguale probabilità. Il problema di questa strategia è che la diversa chiralità porta a diverse proprietà. Gli aromi piacevolmente pungenti del limone e dell'arancia sono dovuti alla stessa molecola, solo in versione rispettivamente destrogira e levogira. Se sbagliamo chiralità possiamo causare disastri nell'ambiente levogiro del nostro organismo. Un'azienda farmaceutica tedesca negli anni Cinquanta mise in commercio con grande battage pubblicitario un farmaco che eliminava le nausee mattutine nelle gestanti; ma si scoprì che la versione benevola e curativa dell'ingrediente attivo era mischiata con quella di chiralità opposta, perché durante la lavorazione i due tipi non si riuscivano a separare. Si trattava del talidomide, forse il più famigerato medicinale del XX secolo, responsabile di molte orribili deformità congenite – i casi più noti sono i bam-

bini focomelici, nati senza braccia o gambe e con mani o piedi attaccati direttamente al tronco come pinne.¹²

Durante la crisi del talidomide, la speranza di arrivare a produrre farmaci chirali sembrava ridotta al lumicino. Ma proprio mentre il mondo si commuoveva per i bambini focomelici, un chimico di Saint Louis chiamato William Knowles iniziò a giocherellare con un improbabile eroe, il rodio, nel laboratorio di ricerca del colosso agrochimico Monsanto. Senza far troppo rumore, stava per smentire parzialmente Pasteur, dimostrando che la materia inerte, se manipolata con astuzia, poteva dare vigore a quella vivente.

Knowles doveva risolvere un problema tecnico: come fare a «gonfiare» una molecola bidimensionale, piatta, per renderla tridimensionale. Questo perché la versione «grassa» sembrava promettere bene nella cura di malattie neurologiche come il Parkinson. Il punto difficile era ottenere la chiralità giusta. (Osserviamo che un oggetto piatto non può essere chirale: due fotografie fronte-retro delle mani montate su cartoncino sono perfettamente intercambiabili. L'asimmetria arriva con la terza dimensione). Ma le sostanze inorganiche nelle reazioni non «sanno» da che parte devono orientarsi e dunque creano molecole sia levogire sia destrogire – a meno di usare qualche trucco.¹³

Il trucco di Knowles fu quello di utilizzare il rodio come catalizzatore, cioè acceleratore della reazione chimica. Queste sostanze hanno a volte un potere che è difficile da immaginare nel nostro mondo ordinario. Ci sono catalizzatori capaci di velocizzare una reazione per un fattore un milione, un miliardo o anche mille miliardi. Il rodio è uno dei migliori: come scoprì Knowles, un solo atomo di questo elemento era in grado di gonfiare un numero enorme delle sue molecole piatte. Dunque fece in modo di piazzarlo al centro di una sostanza chirale, creando così un catalizzatore chirale.

L'astuzia in questa strategia stava nel fatto che sia il catalizzatore al rodio sia la molecola da gonfiare erano molto grandi e complessi. Quando si avvicinavano nella reazione, si comportavano come due animali obesi che tentavano di accoppiarsi. Il catalizzatore riusciva a infilare l'atomo di ro-

dio nella molecola solo da una precisa posizione; e da quella posizione, costretta dalla mole del catalizzatore, la molecola da piatta poteva diventare tridimensionale solo espandendosi lungo una certa direzione.

Questa limitata mobilità durante l'accoppiamento chimico, accoppiata al potere catalitico del rodio, permisero a Knowles di fare solo una parte del lavoro, cioè costruire il catalizzatore chirale, lasciando che la reazione producesse per lui enormi quantità di molecole tridimensionali con la giusta chiralità.

Era il 1968, data che possiamo considerare come l'anno di nascita della moderna chimica farmaceutica. Knowles fu ricompensato per le sue scoperte con il premio Nobel del 2001.

Per inciso, il farmaco prodotto senza posa dal rodio era la 3,4-diidrossi-L-fenilalanina, alias levodopa, alias L-dopa, un nome reso famoso dall'opera di Oliver Sacks *Risvegli*. Il libro racconta la storia di un gruppo di ottanta pazienti che presentavano i sintomi del Parkinson avanzato dopo esser stati colpiti dall'encefalite letargica negli anni Venti, e che furono letteralmente risvegliati dalla somministrazione di L-dopa. Ricoverati in varie istituzioni, questi poveretti avevano passato anche quarant'anni in una sorta di perenne stupore, e alcuni di loro erano del tutto catatonici. Sacks li descrive come «totalmente privi di energia, di slancio, iniziativa, motivazioni, appetiti, affetti o desideri... privi di sostanza come fantasmi e passivi come zombie... vulcani spenti».

Nel 1967 un medico aveva ottenuto eccellenti risultati somministrando a malati di Parkinson la L-dopa, un precursore del neurotrasmettitore dopamina (come il pron-tosil di Domagk, anche questo farmaco deve essere attivato dall'organismo). Ma le versioni destro- e levogire della molecola erano difficili da separare, tanto che all'inizio la medicina costava circa diecimila dollari al chilo. Come nota Sacks (senza chiedersi il perché), a fine 1968 il prezzo della L-dopa crollò come per miracolo. Grazie alla rivoluzione innescata da Knowles, il medico inglese poté iniziare poco dopo la somministrazione del farmaco ai suoi pazienti catatonici a New York; e nella primavera del 1969 «in un

modo... che nessuno avrebbe mai immaginato o previsto, questi “vulcani spenti” eruttarono tornando alla vita».

La metafora del vulcano è precisa, perché gli effetti del farmaco non furono tutti desiderabili. Qualche paziente divenne ipercinetico, altri presero a rosicchiare oggetti come animali, altri ancora furono preda di allucinazioni. Ma questi uomini e donne dimenticati preferirono quasi all'unanimità le manie della L-dopa alla vita assente di prima. Sacks ricorda che per le famiglie e per lo staff dell'ospedale costoro erano «morti a tutti gli effetti», pensiero condiviso anche da qualche paziente. Solo la versione levogira della molecola di Knowles riuscì a risvegliarli. Ancora una volta Pasteur aveva ragione: le sostanze dalla giusta chiralità hanno il potere di dare la vita.

COME GLI ELEMENTI CI INGANNANO

⁷ N 14.007	²² Ti 47.861	⁴ Be 9.012	¹⁹ K 39.098	¹¹ Na 22.990	⁵³ I 126.904
-----------------------------	-------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Nessuno avrebbe mai immaginato che un metallo grigiastro e anonimo come il rodio potesse produrre una sostanza straordinaria come la L-dopa. Ma anche in una disciplina vecchia di secoli come la chimica si possono trovare sorprese: gli elementi non cessano di stupirci, nel bene e nel male. Alcuni di loro possono perturbare il meccanismo automatico della respirazione e confondere i nostri sensi coscienti, e persino, come mostra il caso dello iodio, pregiudicare le nostre facoltà superiori. Da un lato, è vero che gli elementi sono ben noti dal punto di vista chimico-fisico, che di tutti si conosce il punto di fusione o l'abbondanza relativa nella crosta terrestre (il sacro testo della disciplina, un tomone di quattro chili e 2804 pagine chiamato *Handbook of Chemistry and Physics*, registra le proprietà di ogni sostanza con molte più cifre decimali di quante potreste mai aver bisogno). A livello atomico, gli elementi si comportano in modo prevedibile. D'altro canto, quando si scontrano con il caos della biologia le loro azioni spesso ci rendono perplessi. Anche i più comuni e conosciuti di loro, se messi in situazioni particolari, possono riservare brutte sorprese.

Il 19 marzo 1981, cinque tecnici della NASA svitarono un pannello su un modello di veicolo spaziale a Cape Canaveral

ed entrarono in una cavità angusta a poppa, sopra il motore. Per trentatré ore consecutive avevano lavorato simulando il decollo dello shuttle *Columbia*, allora il velivolo più tecnicamente avanzato mai costruito. Tutto era andato per il verso giusto. La prima missione era prevista entro meno di un mese, e alla NASA c'era un'atmosfera di comprensibile ottimismo. I tecnici, stanchi ma felici di aver finito la parte più dura del lavoro, si infilarono in quel bugigattolo per un controllo di routine. Nel giro di pochi secondi, senza opporre resistenza e come presi da un incantesimo, si addormentarono profondamente.

L'ultimo incidente sul suolo terrestre che era costato vite umane alla NASA risaliva al 1967, quando tre astronauti erano arsi vivi nel corso dell'addestramento per la missione *Apollo 1*. Nel progettare le astronavi, l'agenzia spaziale si era fino ad allora preoccupata di ridurre soprattutto il peso; dunque all'interno del velivolo circolava ossigeno puro, non aria, che contiene un buon 80 per cento di azoto, che è peso morto. Purtroppo, come ammetteva la stessa NASA in un rapporto tecnico del 1966, «in presenza di ossigeno puro e senza la diluizione dell'azoto atmosferico, che assorbe calore e interferisce in vari modi, le fiamme divampano più rapidamente e sviluppano temperature più alte». Quando le molecole di ossigeno (O_2) sono agitate dal calore, si rompono e scatenano letteralmente l'inferno nel tentativo di rubare elettroni agli atomi vicini, aumentando così l'incendio. È un elemento che si infiamma alla minima provocazione. Secondo alcuni esperti, c'era anche il pericolo che l'elettricità statica generata dal velcro sulle tute degli astronauti fornisse la scintilla per far avvampare il gas puro. Il rapporto, tuttavia, minimizzava: «si è considerata l'ipotesi di aggiungere gas inerti per rendere la miscela meno infiammabile... tale aggiunta è non solo inutile ma comporta anche operazioni di crescente complessità».

Ora, questo vale forse nello spazio, dove non c'è pressione atmosferica e basta una minima quantità di gas all'interno del velivolo per evitare che imploda. Ma durante le simulazioni sulla superficie terrestre, i tecnici della NASA dovevano immettere nei modelli di astronave molto più ossigeno, per scongiurare il pericolo che tutto crollasse. Ciò aumentava i

rischi, perché con simili quantità di ossigeno bastava poco per scatenare un violento incendio. Fu esattamente ciò che accadde nel 1967, quando una scintilla di origine misteriosa fece bruciare il simulatore con i tre astronauti dentro.

Un disastro serve anche a chiarirsi le idee. Da allora, la NASA decise che i gas inerti, per complicati che fossero da gestire, dovevano essere presenti in tutti i velivoli e i simulatori. Per questo motivo nel 1981, durante la preparazione della missione *Columbia*, ogni spazio in cui c'era il rischio di incendio era riempito con azoto (N_2). Le componenti elettroniche e i motori funzionano anche in presenza di questo gas, che grazie alla maggiore solidità della sua molecola riesce a neutralizzare le scintille. I lavoratori che dovevano entrare in spazi pieni di azoto erano obbligati a indossare maschere antigas o semplicemente aspettare che il gas venisse risucchiato fuori per far entrare aria respirabile. Quel 19 marzo qualcosa andò storto. Ai tecnici fu dato il via libera troppo presto, dunque entrarono nella cavità ancora piena di azoto e andarono giù come birilli. Il gas non solo impedì alle loro cellule nervose e sanguigne di assorbire nuovo ossigeno, ma come un borseggiatore privò l'organismo delle sue preziose riserve, accelerando così il collasso. I cinque furono subito soccorsi, ma per due di loro non ci fu nulla da fare: John Bjornstad fu trovato morto, mentre Forrest Cole entrò in coma e spirò il 1° aprile.

La NASA non è stata l'unica a sperimentare i pericoli dell'azoto, che negli ultimi anni ha causato incidenti in miniere e anche negli acceleratori di particelle sotterranei.¹ La dinamica è sempre uguale e sembra tratta da un film dell'orrore: il primo a entrare crolla a terra nel giro di pochi secondi senza motivo apparente, gli altri corrono in suo aiuto e cadono anche loro. La cosa più inquietante è che nessuno sembra lottare o agitarsi, e nonostante la mancanza di ossigeno non si scatena il panico. Ciò può sembrare incredibile se si pensa alla reazione di chi si trova sott'acqua, istintivamente portato a cercare di risalire in superficie per non soffocare. Ma i nostri organi, che si tratti di polmoni o del cervello, non hanno modo di sapere se stiamo inalando ossigeno: si accorgono solo che stiamo ispiran-

do un certo gas ed espirando anidride carbonica. Quest'ultima si discioglie nel sangue e forma acido carbonico, il cui livello viene monitorato dall'organismo. Finché il corpo riesce a depurarsi di CO_2 a ogni respiro, i centri di controllo non segnalano allarme. È davvero un baco evolutivo, visto che sarebbe assai più utile riuscire a monitorare la quantità di ossigeno. Però per le cellule è più semplice – e in condizioni normali basta e avanza – controllare che l'acido carbonico sia quasi assente, dunque fanno il minimo indispensabile.

L'azoto inganna il sistema. Non ha odore né colore e non causa l'accumulo di sostanze acide nel sangue. In genere lo inspiriamo ed espiriamo senza problemi, dunque i polmoni sono abituati alla sua presenza e il cervello non fa scattare nessun allarme. È un killer «gentile» che oltrepassa le barriere di sicurezza dell'organismo facendo un cenno amichevole ai guardiani. (Ironia della sorte, gli elementi nella colonna dell'azoto si definiscono tradizionalmente «pnicogeni», parola che ha origine dal termine greco per «soffocare» o «strangolare»). I tecnici della NASA, prime vittime legate allo sfortunato shuttle *Columbia*, che sarebbe esploso ventidue anni dopo sui cieli del Texas, probabilmente si sentivano stanchi e disorientati, ma poteva trattarsi di una condizione normale dopo trentatré ore di lavoro; e visto che continuavano a espirare anidride carbonica, i loro cervelli non registrarono anomalie fino a quando l'azoto non li spese.

Poiché ha il compito di contrastare microbi e altri organismi viventi, il nostro sistema immunitario è più sofisticato del meccanismo che ci consente di respirare. Ma ciò non significa che non prenda anche lui qualche abbaglio con gli elementi. In questo caso, però, la tavola periodica può anche ingannarci a fin di bene.

Nel 1952 il medico svedese Per-Ingvar Brånemark stava studiando il meccanismo con cui il midollo osseo produce nuove cellule ematiche. Senza farsi troppi scrupoli, aveva inventato un sistema crudele per osservare il fenomeno dal vivo nei conigli. Aveva bucato i femori degli animali e coper-

to il foro con uno strato molto sottile di titanio, trasparente se illuminato con luce diretta. Terminate le osservazioni, con buoni risultati, Brånemark pensò bene di riutilizzare i costosi coperchi di titanio per altri esperimenti. Si accorse però con irritazione che erano impossibili da rimuovere. Lasciò allora perdere (e chissà che fine fecero i poveri conigli), ma poco dopo gli capitò la stessa cosa in un'altra occasione e volle vederci chiaro. Perché il metallo si stringeva come una morsa sull'osso? Fu così che scoprì un fenomeno di fronte al quale la nascita in diretta delle cellule sanguigne era una noia mortale. La costruzione di protesi, disciplina allora poco evoluta, stava per cambiare per sempre.

Fin dai tempi antichi i medici sostituivano gli arti mancanti con rozze appendici di legno. Dopo la rivoluzione industriale, si iniziarono a usare protesi di metallo. I reduci della prima guerra mondiale sfigurati al volto venivano forniti di parti mobili di stagno, che mascheravano le ferite deturpanti e permettevano una vita sociale accettabile. Nessuno però era mai riuscito a integrare le protesi nell'organismo, che sarebbe stata la soluzione ideale. Si provò un po' di tutto, dall'oro allo zinco, dal magnesio fino alle vesciche di maiale rivestite di cromo, ma non c'era niente da fare: il sistema immunitario rigettava ogni tentativo di innesto. Brånemark, da buon conoscitore del sangue umano, sapeva sicuramente il perché. In un organismo sano, i corpi estranei sono subito attaccati da alcuni tipi di cellule ematiche, che li neutralizzano avvolgendoli con fibre di collagene. Questo meccanismo permette di sigillare l'intruso impedendogli di rilasciare sostanze potenzialmente dannose. Da un lato funziona molto bene in presenza, per esempio, di una pallottola, dall'altro soffre di una certa rozzezza: le cellule non sono abbastanza intelligenti da distinguere un'intrusione illecita dall'immissione di un elemento utile. Le protesi che si tentava di impiantare venivano avvolte dal collagene e nel giro di pochi mesi scivolavano via o si spezzavano.

Il problema si verificava anche utilizzando metalli che l'organismo è normalmente in grado di metabolizzare, come il ferro. Il titanio non è tra questi, visto che non è presente

nemmeno in tracce nel nostro corpo, dunque poteva sembrare il candidato meno adatto alla costruzione di protesi accettate dal sistema immunitario. Eppure Brånemark scoprì che era proprio così: per qualche strano motivo, questo elemento ipnotizza le cellule ematiche e non fa scattare la risposta standard. Riesce anche a ingannare gli osteoblasti, le cellule preposte alla formazione delle ossa, e le spinge a legarsi con lui, come se tra l'elemento numero 22 e un femore non ci fosse differenza. Ecco un bel caso di frode a fin di bene. Dal 1952 l'uso del titanio si è diffuso fino a diventare di prassi negli impianti dentali, negli arti artificiali e nelle protesi all'anca, come quella impiantata a mia madre nei primi anni Novanta.

Grazie a una fantasmagorica cattiva sorte, la mia genitrice era affetta da una forma di artrosi precoce che le aveva distrutto la cartilagine delle anche, lasciando che la testa del femore sfregasse nell'acetabolo come un pestello nel mortaio. A soli trentacinque anni subì dunque un'operazione con cui le sostituirono le anche con due protesi: due pezzi di titanio con una pallina a un'estremità le vennero martellate a forza (l'ortopedia sembra la carpenteria) nei femori e due nuove cavità le furono installate nell'osso iliaco. Nel giro di pochi mesi era in grado di camminare senza provare dolore per la prima volta dopo anni. Io raccontavo orgoglioso agli amici che aveva subito la stessa operazione di Bo Jackson, il grande campione americano.

Purtroppo però, anche per colpa della sua scarsa attitudine a prendersela calma con i suoi bimbi dell'asilo, nel giro di nove anni il dolore e l'infiammazione erano ritornati e la protesi di mia madre dovette essere sostituita. I chirurghi riaprirono la ferita e videro che le parti plastiche contenute nella nuova testa del femore si erano usurate, rilasciando frammenti che l'organismo aveva giustamente ricoperto di collagene. La parte dell'acetabolo, interamente in titanio, era invece intatta ed era così ben attaccata che fu difficile rimuoverla per inserire la nuova protesi. Come trofeo per la più giovane paziente mai operata due volte all'anca in quell'ospedale, i medici della clinica Mayo le regalarono la protesi originale. Ce l'ha ancora oggi, conservata in una semplice busta gialla. Sembra una pallina da tennis tagliata

a metà, e anche oggi, dieci anni dopo, si vedono pezzi di osso cementati indissolubilmente, come corallo, sulla grigia superficie di titanio.

Il sistema immunitario agisce a nostra insaputa, al contrario dell'assai più avanzato apparato sensoriale: tatto, gusto e odorato, tra gli altri, sono i ponti che uniscono il corpo alla mente. Ma ormai dovremmo avere imparato che nei sistemi viventi a nuovi livelli di raffinatezza si accompagnano altrettanti punti di vulnerabilità. Il benevolo ed eroico inganno del titanio, ahimè, è un'eccezione. Visto quanto ci fidiamo dei nostri sensi come fonte di informazione sul mondo esterno e protezione dai pericoli, apprendere come sia facile aggirarli dovrebbe renderci più umili – e anche un po' spaventati.

Alcuni speciali recettori situati all'interno della bocca ci dicono quando sputare il brodo prima che ci bruci la lingua, ma le sostanze piccanti come il peperoncino contengono la capsaicina, un composto che stimola gli stessi recettori. Analogamente, il senso del freddo è ingannato dalle caramelle alla menta grazie al mentolo, che può farvi anche tremare come se vi fosse entrata in bocca una corrente artica. Altri elementi giocano scherzi simili all'olfatto e al gusto. Basta l'esposizione a piccolissime quantità di tellurio per puzzare d'aglio per settimane, con un odore tanto forte da persistere in una stanza anche ore dopo che ve ne siete andati. Ancora più strano è quel che avviene con il berillio, l'elemento numero 4, che al gusto è uguale allo zucchero. Gli esseri umani hanno un disperato bisogno di zucchero, più degli altri nutrienti, e dopo millenni di caccia e raccolta ci aspetteremmo di aver sviluppato un sistema infallibile per accorgerci della sua presenza negli alimenti. Invece no: il berillio è un metallo pallido, difficile da fondere e insolubile, fatto di piccoli atomi che non ricordano per nulla le molecole di glucosio, eppure i nostri recettori del gusto non riescono a distinguerlo dallo zucchero.

Potrebbe essere una storiella divertente, se non fosse che il berillio è sì dolce in piccole dosi, ma diventa rapidamente

tossico se ingerito in quantità maggiori.² Si calcola che circa un decimo della popolazione umana sia suscettibile alla berilliosi, cifra analoga agli intolleranti alle noccioline. Anche per chi non è predisposto, l'esposizione a polveri di berillio può fare danni al sistema respiratorio e causare una polmonite da inalazione analoga alla silicosi – come scoprì a sue spese uno dei più grandi scienziati di tutti i tempi, Enrico Fermi. Da giovane, il brillante fisico italiano usava la polvere di berillio nei suoi esperimenti sull'uranio; era un'ottima scelta, perché questo elemento riesce a rallentare le particelle emesse dalla materia radioattiva e impedisce loro di disperdersi nell'aria, costringendole invece a stare in prossimità dell'uranio e a far continuare il decadimento. Anche in età più matura, dopo essersi trasferito in America, Fermi continuò a operare in questo modo e divenne così sicuro di sé da innescare la prima reazione a catena in un Campetto all'interno dell'Università di Chicago (fortunatamente fu anche in grado di fermarla in tempo). Ma mentre il grande scienziato domava il potere del nucleo, l'umile berillio era dedito alla sua rovina. Da giovane aveva ingerito quantità eccessive di questo zucchero a velo chimico e così, a soli cinquantatré anni, morì di polmonite, dopo aver passato gli ultimi giorni attaccato a un respiratore.

Se il berillio può ingannare anche persone bene informate, è in parte a causa delle stramberie del senso del gusto negli esseri umani. Dei cinque principali tipi di papille gustative, alcune sono in effetti affidabili. I recettori dell'amaro, per esempio, vagliano gli alimenti, soprattutto vegetali, per verificare la presenza di sostanze tossiche a base di nitrati, come il cianuro dei semi di mela. I recettori dell'*umami* (in giapponese «saporito»), cioè del sapore del glutammato, sono sensibili al contenuto proteico dei cibi. In quanto aminoacido, infatti, il glutammato entra nella costruzione delle proteine. I recettori del dolce e dell'acido, invece, sono facili da abbindolare. Oltre al berillio, ci riesce una speciale proteina presente in alcuni tipi di bacche, degnamente battezzata «miracolina». Questa sostanza elimina negli alimenti le note acide senza alterare le altre componenti del sapore, cosicché l'aceto di mele ha il gusto del sidro e il Tabasco la dolcezza della salsa al pomodo-

ro. La miracolina da un lato inibisce i recettori dell'acidità e dall'altro si lega ai recettori del dolce, per sensibilizzarli agli sporadici ioni idrogeno (H^+) presenti negli acidi. Un fenomeno analogo si osserva in coloro che inalano accidentalmente acido cloridrico o solforico: spesso provano una sensazione di dolore ai denti, come se qualcuno li avesse costretti a mangiare fette di limone estremamente acide. Ma come ha dimostrato Gilbert Lewis, gli acidi sono intimamente legati agli elettroni e ad altre cariche. A livello molecolare, l'«acidità» è semplicemente ciò che avvertiamo quando i nostri recettori si aprono e vi precipitano degli ioni idrogeno. La lingua in un ambiente acido conduce elettricità, come dimostrò il conte Alessandro Volta (eponimo del «volt», l'unità di tensione elettrica) circa due secoli fa grazie a un geniale esperimento. Formò una catena umana con un gruppo di volontari e chiese a ciascuno di loro di afferrare tra indice e pollice la lingua del vicino, mentre i due alle estremità posavano le dita sui poli di una batteria. Immediatamente il circuito si chiuse e tutti sentirono un gusto acido in bocca.

I recettori del salato sono anch'essi sensibili al flusso di cariche elettriche, ma solo quelle di certi ioni. È soprattutto il sodio a scatenare il riflesso del salato sulla lingua, ma anche il potassio, suo cugino chimico, ha il potere di farci sentire il gusto del sale. Questi due elementi esistono in natura sotto forma di ioni, ed è essenzialmente questa carica elettrica, più che una qualche proprietà intrinseca, a far scattare i recettori sulla lingua. Se abbiamo acquisito questo gusto nel corso dell'evoluzione, è perché gli ioni di potassio e di sodio aiutano le cellule nervose a trasmettere i loro segnali e i muscoli a contrarsi: senza la carica fornita da questi elementi entreremmo in stato di morte cerebrale e il cuore cesserebbe di battere. La nostra lingua interpreta come vagamente salati anche altri ioni importanti dal punto di vista biologico, come quelli di calcio e magnesio.³

Certo, vista la complessità del nostro senso del gusto, riconoscere il salato non è così semplice come sembrerebbe dalle ultime righe. Alcuni ioni fisiologicamente inutili come il litio e l'ammonio ci sembrano salati come sodio e potassio. E a seconda dell'elemento con cui si legano, que-

sti ultimi possono avere sapore dolce o acido. Nel caso del cloruro di potassio, per esempio, una molecola che sembra amara in piccole quantità si trasforma come per magia in salatissima ad alte concentrazioni. Il potassio di per sé è in grado di anestetizzare completamente la lingua. Assumere una soluzione di acido gimnemico e potassio, presente nelle foglie della *Gymnema sylvestre*, neutralizza l'azione della miracolina; in effetti dopo che si sono masticate queste foglie si può fare il pieno di glucosio, saccarosio o fruttosio senza sentire quella tipica botta di energia: lo zucchero semolato anche ingollato a cucchiainate non sa più di niente e sembra di mangiare sabbia.⁴

Ci sono dunque molti motivi per concludere che il gusto è un pessimo strumento con cui esaminare gli elementi. Il fatto che il potassio ci inganni sembra strano, ma forse dal punto di vista evolutivo è comprensibile che i nutrienti cerchino di attivare e ricompensare i nostri centri cerebrali della gratificazione. Il berillio invece è probabilmente un accidente della storia: nessun essere umano l'aveva mai incontrato in forma pura prima che un chimico francese lo isolasse in laboratorio poco dopo la Rivoluzione, dunque non abbiamo avuto tempo di sviluppare un'istintiva ripugnanza. Il fatto è che, almeno in parte, siamo figli del nostro ambiente, e per quanto siamo bravi a immagazzinare formule e teorie o a organizzare esperimenti chimici, i nostri sensi trarranno le loro conclusioni a prescindere, continuando a sentire l'aglio nel tellurio e lo zucchero nel berillio.

Il gusto per i cibi è pur sempre uno dei nostri piaceri primordiali, di cui dovremmo lodare la meravigliosa complessità. La sua componente principale è l'olfatto, l'unico senso in grado di saltare i processi coscienti e connettersi direttamente ai centri delle emozioni presenti nel cervello. Il gusto, combinazione di tatto e odorato, entra più in profondo nel nostro mondo interiore di quanto facciano gli altri sensi: dopo tutto, ci bacciamo con la lingua. Di fronte alla tavola periodica, però, faremmo bene a tener la bocca chiusa.

Un organismo vivente è talmente complicato e caotico – nel senso in cui, proverbialmente, «il battito d'ali di una farfalla in Brasile può causare un uragano in Texas» – che non è quasi mai possibile prevedere cosa accadrà se iniettiamo un certo elemento nel sangue, nel fegato o nel pancreas. Nemmeno il cervello è immune dal potere della chimica. Le facoltà superiori dell'essere umano, il pensiero logico e la capacità di giudizio, sono vulnerabili all'attacco anche di semplici elementi come lo iodio.

La cosa non dovrebbe sorprenderci, perché questa sostanza è ingannatrice fin nella sua stessa struttura. Gli elementi della tavola periodica di solito aumentano di peso atomico man mano che si procede da sinistra a destra. Come abbiamo visto, attorno al 1860 Mendeleev fece di questa proprietà una legge universale della materia. Ma le leggi universali non dovrebbero avere eccezioni: invece nell'angolo in basso a destra della tavola si vede proprio un caso particolarmente spiacevole, già noto al chimico russo. Per stare nella colonna appropriata sotto i suoi simili, il tellurio, numero 52, deve rimanere a sinistra dello iodio, numero 53; il problema è che il primo è più pesante del secondo. Nonostante la rabbia di Mendeleev, che era convinto che tutti gli sperimentatori fossero in errore e che le loro misure fossero sbagliate, è proprio così: non si può far nulla di fronte ai crudi fatti.

Oggi questo scambio di posto è trattato alla stregua di un innocuo scherzetto, giocato dalla natura a spese dell'inventore della tavola periodica. Tra gli elementi naturali sono note altre tre coppie in cui il più pesante sta a sinistra (argo-potassio, cobalto-nichel e torio-protattinio), oltre a vari casi tra gli elementi transuranici e artificiali. Un secolo dopo Mendeleev, lo iodio divenne protagonista di un inganno più grande e insidioso. Ancora oggi tra il miliardo di abitanti dell'India è diffusa la credenza che il Mahatma Gandhi, questo saggio pacifista, non potesse soffrire lo iodio. Più probabilmente detestava l'uranio e il plutonio, responsabili delle bombe atomiche, ma secondo i suoi esegeti contemporanei che vogliono dar credito a questa persistente diceria, aveva un particolare motivo d'odio proprio nei confronti dell'elemento numero 53.

Nel 1930 Gandhi guidò il suo popolo nella celebre marcia del sale per protestare contro un'oppressiva tassa voluta dai britannici. Il sale era una delle poche merci di scambio che un Paese povero come l'India riusciva a produrre da sé. La gente prendeva semplicemente l'acqua del mare, la faceva evaporare e smerciava il ricavato in piccole rivendite situate ai bordi delle strade. La mossa del governo britannico di imporre una tassa dell'8,2 per cento su questa produzione era avida e insensata, l'equivalente di tassare i beduini per la sabbia o gli eschimesi per il ghiaccio. In segno di protesta, il 12 marzo Gandhi partì da Ahmedabad con settantotto seguaci e si incamminò verso la città costiera di Dandi. Lungo i quasi quattrocento chilometri del tragitto una grande folla si unì alla marcia, tanto che all'arrivo il 6 aprile il corteo era lungo tre chilometri. Giunto al mare, Gandhi raccolse un pugno di sabbia salmastra e disse: «Con questo sale voglio minare le fondamenta dell'impero britannico!». Era l'equivalente indiano del Boston Tea Party che aveva dato inizio alla rivoluzione americana. Gandhi chiese ai suoi compatrioti di continuare a produrre il sale in modo tradizionale, illegalmente e senza pagare tasse. Diciassette anni dopo nell'India diventata ormai indipendente, il cosiddetto sale comune era sulla maggior parte delle tavole indiane.

Il problema è che il normale sale da cucina contiene poco iodio, elemento fondamentale per la salute. Già negli anni Venti del Novecento i governi occidentali avevano scoperto che l'aggiunta di iodio alla dieta era la misura sanitaria più economica ed efficace per prevenire le anomalie congenite e il ritardo mentale. A cominciare dalla Svizzera nel 1922, molti Paesi imposero ai produttori di sale di aggiungervi iodio, perché questo era il modo più semplice e meno costoso per somministrare tale elemento all'intera popolazione. Anche in India, nazione dal suolo povero di iodio e dal tasso di nascite catastrofico, i medici capirono che questo metodo avrebbe potuto salvare milioni di bambini da menomazioni invalidanti.

Ma anche molti anni dopo la marcia di Gandhi, la produzione di sale in India era un'industria del popolo per il popolo, e il sale iodato, che l'Occidente spingeva ad adotta-

re, puzzava ancora di colonialismo. Con il tempo, però, i benefici dello iodio divennero più evidenti e i vari Stati federati del subcontinente, tra gli anni Cinquanta e gli anni Novanta, pur con qualche resistenza, promulgarono leggi che rendevano obbligatoria la commercializzazione di sale arricchito. Ma quando nel 1998 il governo centrale obbligò tre Stati recalcitranti a bandire il sale tradizionale, vi fu come un ritorno di fiamma. I piccoli produttori protestarono contro i costi aggiuntivi della lavorazione. Le frange più nazionaliste e i seguaci di Gandhi inveirono contro l'ingerenza della scienza occidentale. Certi ipocondriaci temevano, senza alcun fondamento, che lo iodio causasse cancro, diabete, tubercolosi e persino, bizzarramente, il «cattivo umore». Il fronte degli oppositori non dava tregua, tanto che due anni dopo – sotto gli occhi sbigottiti dell'ONU e dei medici indiani – il governo ritirò la legge. Tecnicamente parlando, il sale ordinario rimaneva legale solo in tre Stati, ma la mossa fu interpretata come un'approvazione di fatto. Il consumo di sale arricchito crollò del 13 per cento da un capo all'altro del Paese; il tasso di anomalie congenite aumentò in proporzione.

Fortunatamente la situazione cambiò nel 2005, quando il nuovo governo rimise al bando il sale non iodato. Ma questo intervento dall'alto non ha certo risolto il problema, in un Paese dove il risentimento in nome di Gandhi mobilita ancora le folle. L'ONU ha messo in piedi un programma educativo per cercare di informare le giovani generazioni, meno legate al culto del padre della patria. I bambini in età scolare sono incoraggiati a portare di nascosto a scuola un po' di sale preso dalla cucina di casa. Con i loro insegnanti, giocano poi a fare i chimici controllando le carenze di iodio. Ma per ora la battaglia sembra perduta. All'India produrre sale arricchito in quantità sufficiente per i suoi abitanti non costerebbe che un centesimo di dollaro a persona per anno; ma i costi del trasporto sono elevati, e oggi metà Paese, cioè più di mezzo miliardo di persone, non assume regolarmente iodio con il cibo. Le conseguenze sono tremende e vanno ben oltre l'aumento di malformazioni congenite. La carenza di iodio causa il gozzo, un orribile rigonfiamento della tiroide. Alla

lunga, questa ghiandola fondamentale per il funzionamento dell'organismo, che regola la produzione e l'immissione in circolo degli ormoni, inclusi quelli prodotti nel cervello, si atrofizza. Chi ne è colpito può perdere rapidamente le facoltà intellettive, fino ad arrivare al cretinismo.

Il filosofo inglese Bertrand Russell, altro eminente pacifista del Novecento, si servì di questi dati medici sullo iodio per argomentare contro l'esistenza di un'anima immortale: «L'energia utilizzata nel pensiero sembra avere origine chimica... Per esempio, la carenza di iodio trasformerà un individuo intelligente in un idiota. I fenomeni della mente sembrano legati a doppio filo con la struttura materiale dell'organismo». Russell, grazie all'azione di quell'elemento, si convinse che la ragione, le emozioni e la memoria erano prodotti delle caratteristiche chimico-fisiche del cervello. Non era possibile isolare un'«anima» dal corpo, dunque la ricca vita intellettuale dell'uomo, fonte di gioia e dolori, non era che pura e semplice chimica. Siamo fatti di tavola periodica, fino nel nostro intimo.

PARTE QUARTA

ELEMENTI UMANI, TROPPO UMANI

ELEMENTI POLITICI

⁹⁶ Cm (247)	⁸⁴ Po 209	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Hf 178.492	⁹¹ Pa 231.036	⁵⁷ La 138.905	¹⁰⁹ Mt (276)
------------------------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

La mente e il cervello dell'uomo sono le strutture più complesse che si conoscano. Grazie a loro, gli esseri umani sono carichi di speranze e desideri, complicati e spesso contraddittori. Anche un oggetto austero e scientificamente neutro come la tavola periodica riflette questa nostra condizione: dopo tutto è stato costruito da uomini fallibili come noi. Inoltre è il luogo dove l'astratto incontra il concreto, dove la nostra aspirazione alla conoscenza dell'universo, la più nobile tra quelle umane, cozza contro la cruda materia di cui il mondo è fatto, fonte dei nostri vizi e limiti. La tavola periodica è stata teatro di frustrazioni e fallimenti in ogni campo: economia, psicologia, arte e politica – come abbiamo visto nel capitolo precedente a proposito dello iodio e di Gandhi. C'è una storia sociale degli elementi che non è meno importante della loro storia scientifica.

Per iniziare dobbiamo guardare all'Europa, in particolare a un Paese che nei secoli è stato a lungo una pedina nelle mani delle potenze coloniali, quasi come l'India: la Polonia. L'hanno definita una «nazione su ruote», come un circo viaggiante, per le sue molte entrate e uscite sulla scena della politica internazionale. Gli imperi da cui era circondata (Russia, Austria-Ungheria e Prussia) hanno spesso usato le sue terre piatte e prive di barriere naturali come campo di

battaglia, e si sono dati il cambio nello spartirsi a casaccio il «parco giochi di Dio» (come un famoso storico ha definito la Polonia). Se prendiamo una carta geopolitica dell'Europa di un anno a caso negli ultimi cinque secoli, è molto probabile che la cara vecchia Polonia non vi compaia.

È forse un segno del destino il fatto che questa nazione non fosse indipendente nell'anno di nascita della sua figlia più illustre: Marie Skłodowska, nata a Varsavia nel 1867 – proprio quando Mendeleev era intento alla sua grande impresa. Quattro anni prima la Russia aveva represso duramente una rivolta (destinata al fallimento come quasi tutte le rivolte polacche) e la capitale era sotto il pugno di ferro zarista. Visto che i russi dell'epoca avevano idee molto arretrate sull'istruzione femminile, Marie prese lezioni a casa dal padre. Da adolescente mostrava spiccate attitudini scientifiche, ma frequentava anche gruppi di agitatori politici e manifestava per l'indipendenza. Dopo aver protestato una volta di troppo, Marie trovò più prudente trasferirsi a Cracovia, l'altro grande centro culturale della Polonia (e all'epoca, ahimè, parte dell'impero asburgico). Poiché anche lì non riusciva a ricevere quella formazione scientifica a cui anelava, si decise a emigrare a Parigi, alla Sorbona. Le sue intenzioni erano di rientrare in madrepatria una volta ottenuto il dottorato, ma si innamorò di Pierre Curie e rimase in Francia.

A partire dal 1890 circa, Pierre e Marie Curie instaurarono anche una collaborazione scientifica, forse la più fruttuosa nella storia della scienza. Il campo di ricerca più «caldo» dell'epoca era la radioattività, e Marie vi contribuì con importanti scoperte sull'uranio, il più pesante degli elementi naturali. Di fatto capì che la sua natura chimica è molto diversa da quella fisica. L'uranio puro emette tante radiazioni quanto quello legato nei minerali, perché i legami elettronici tra gli atomi di questo elemento e quelli che lo circondano (cioè la sua chimica) non influenzano gli eventuali decadimenti del nucleo (la sua fisica). Dopo questa scoperta, non era più necessario esaminare milioni di sostanze e misurare laboriosamente la radioattività di ciascuna (come per esempio si deve ancora fare per determinare le temperature di fusione),

perché bastava studiare la novantina di elementi della tavola periodica. Ciò semplificava enormemente le ricerche, spazzava via le ragnatele nella polverosa soffitta della radioattività e rivelava le solide travi che reggevano l'edificio. Per questa scoperta, i coniugi Curie ottennero il Nobel per la fisica nel 1903.

Marie, che nel frattempo aveva avuto la figlia Irene nel 1897, era felice della sua vita parigina, ma nell'intimo si sentiva sempre una donna polacca. Era di fatto il prototipo di una figura che sarebbe diventata molto comune nel Novecento: lo scienziato costretto all'emigrazione. Come ogni altra attività umana, la scienza si è sempre intrecciata con la politica – e con i suoi tradimenti, le sue meschinerie, i suoi freddi calcoli. Il XX secolo fornisce i migliori (cioè peggiori) esempi di come il nazionalismo abbia tra le sue vittime anche la scienza. La carriera di due delle più grandi scienziate mai esistite fu scandita da continue interferenze politiche; anche le ricerche più astratte volte a capire e completare la tavola periodica furono teatro di scontri tra fazioni. E soprattutto, le vicende del secolo appena trascorso provano quanto sia stolta la pretesa degli scienziati di seppellirsi nei laboratori e lavorare a testa bassa nella speranza che il mondo là fuori risolva da solo i suoi problemi con lo stesso ordine logico delle loro equazioni.

Poco dopo la vittoria del Nobel, i Curie fecero un'altra importante scoperta. Durante il lavoro di purificazione dell'uranio, si accorsero di un fenomeno curioso: le scorie che in genere buttavano via erano trecento volte più radioattive dell'uranio stesso. Nella speranza che contenessero qualche ignoto elemento radioattivo, si misero a far bollire in un pentolone tonnellate di pechblenda (un minerale dell'uranio), rimestando con una barra di ferro «grande quasi più di me», come disse Marie; all'uopo affittarono addirittura un locale apposito, uno stanzone dove un tempo si eseguivano autopsie. Questo gran lavoro servì a ottenere i pochi grammi di residuo sufficienti per iniziare le ricerche. Dopo anni di fatica titanica e noia indicibile, furono premiati dalla scoperta di ben due nuovi elementi, molto più radioattivi di tutti quelli fino ad allora noti. E da un altro Nobel, questa volta per la chimica, nel 1911.

Può sembrare strano che due ricerche condotte lungo le stesse linee abbiano portato a premi in due discipline diverse, ma all'epoca la distinzione tra i vari ambiti non era chiara come oggi. Molti tra i primi Nobel per la chimica o la fisica furono assegnati per scoperte legate alla tavola periodica, visto che in quel periodo si stava ancora cercando di metterla in ordine. (Quando Glenn Seaborg e il suo gruppo crearono l'elemento 96, e lo battezzarono curio in onore di Marie, il loro lavoro era ormai nettamente considerato chimica). Sia come sia, la grande scienziata fu a lungo l'unica persona a potersi fregiare di un doppio Nobel.

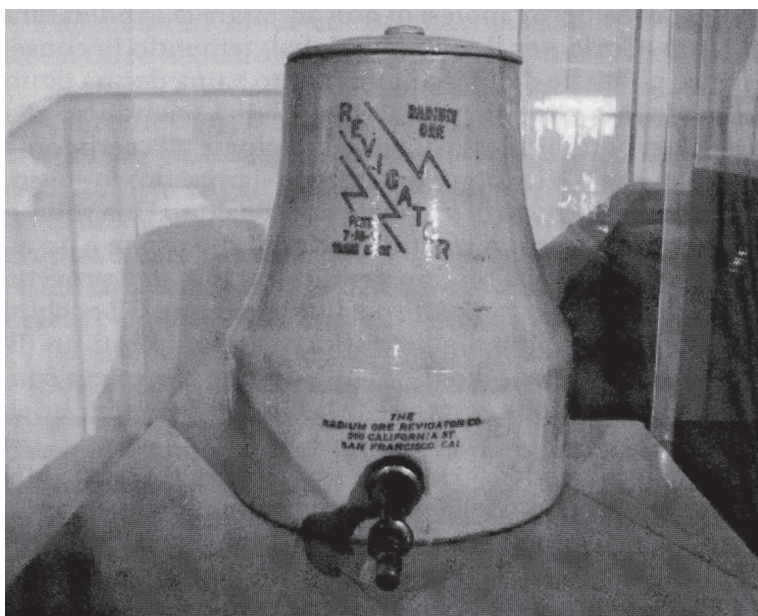
Come scopritori dei nuovi elementi, i Curie avevano diritto di dare loro un nome. Vista l'attenzione che la vicenda aveva attirato su di sé (non da ultimo perché uno degli scienziati era una donna), Marie volle sfruttare l'occasione per un messaggio politico e battezzò il numero 84 «polonio», in onore della sua madrepatria, allora politicamente inesistente. Era una mossa senza precedenti, e la donna sperava in quel modo di dare una spinta alla lotta per l'indipendenza della Polonia. Non fu così. L'opinione pubblica se ne accorse appena, presa com'era a seguire i dettagli più sordidi della sua vita privata.

Nel 1906 morì tragicamente Pierre, travolto da una carrozza¹ (motivo per cui non condivise con la moglie il Nobel del 1911: il premio si può assegnare solo ai viventi). Qualche anno più tardi, quando ancora non si erano spenti gli echi dell'Affare Dreyfus (l'ufficiale ebreo accusato ingiustamente di spionaggio, con prove finte fornite dall'esercito), Marie non fu ammessa all'Accademia delle Scienze francese in quanto donna (il che era vero) e «sospetta ebrea» (il che era falso). Poco dopo partì per un congresso scientifico a Bruxelles insieme con il collega (e amante, come si scoprì poi) Paul Langevin. La moglie tradita di costui, irritata da questo gesto eclatante, passò a un giornale scandalistico le lettere d'amore tra Marie e il marito. I punti più salaci furono pubblicati senza censure. Dopo questa pubblica umiliazione, Langevin arrivò persino a difendere il suo onore in duelli alla pistola. Nessuno si fece male, tranne Langevin stesso, preso a sediate dalla moglie e messo ko.

Lo scandalo divenne pubblico nel 1911 e l'Accademia sve-

dese considerò l'ipotesi di non accettare la candidatura di Marie Curie per il secondo Nobel, temendo le conseguenze politiche di un riconoscimento a una donna tanto scomoda. Ma alla fine prevalse la solidità scientifica; alla scienziata fu solo chiesto di non partecipare alla cerimonia in suo onore – e lei orgogliosamente si presentò lo stesso. (Marie aveva il gusto di sfidare le convenzioni. Una volta, a casa di un famoso scienziato, trascinò il suo ospite e un altro uomo in uno sgabuzzino per mostrar loro una provetta piena di materiale radioattivo e luminescente. Gli occhi si erano appena abituati all'oscurità quando si sentì un discreto bussare: era la moglie di uno dei due che voleva controllare la situazione, vista anche la fama di *femme fatale* della Curie).

Una piccola soddisfazione, in una vita di alti e bassi,² Marie la ebbe alla fine della prima guerra mondiale, quando il crollo degli imperi europei restituì dopo secoli l'indipendenza alla Polonia. Ma l'aver chiamato il primo elemento da lei scoperto come la madrepatria non contribuì molto alla causa, anzi si rivelò con il senno di poi una triste metafora per il destino di quella nazione: il polonio è un metallo sostanzialmente inutile e decade rapidamente (inoltre, nel mondo anglosassone «polonio» fa più che altro venire in mente il debole personaggio dell'*Amleto* shakespeariano). Il secondo elemento da lei scoperto, il radio, al contrario divenne in breve tempo una star mondiale, grazie anche al suo esotico bagliore verde traslucido. La gente si mise addirittura a bere acqua corretta al radio, grazie a marchingegni come il Revigator mostrato in figura a p. 216. Era considerata benefica per la salute. (Un'azienda concorrente, la Radithor, vendeva bottiglie di acqua al radio e al torio preconfezionate).³ Dunque il radio oscurò il fratello radioattivo, attirando tutta l'attenzione che Marie Curie sperava andasse verso la sua terra. Oggi sappiamo anche che il polonio è collegato al cancro ai polmoni da fumo, perché la pianta del tabacco lo assorbe in modo particolare e lo concentra nelle foglie; una volta inalato il fumo, la sostanza radioattiva danneggia i tessuti polmonari. In tutto il mondo, solo la Russia, che tante volte in passato conquistò la nazione a cui il minerale deve il nome, oggi si prende la briga di lavorare



Il Revigator, recipiente di ceramica rivestita di radio. I possessori di questo status symbol lo riempivano d'acqua, che lasciavano decantare per una notte; dopodiché bevevano il rinfrescante liquido diventato radioattivo. Si raccomandava di assumerne almeno sei bicchieri al giorno (National Museum of Nuclear Science and History).

il polonio. Ecco perché quando l'ex spia del KGB Alexandr Litvinenko fu avvelenato da sushi al polonio, e comparve in televisione debilitato come un malato di leucemia, senza capelli e sopracciglia, tutti sospettarono in primo luogo dei suoi ex datori di lavoro al Cremlino.

Un solo altro caso di avvelenamento acuto da polonio ha avuto la drammatica risonanza del caso Litvinenko: quello di Irène Joliot-Curie, la figlia di Marie. Questa donna alta, magra e dagli occhi tristi, oltre che scienziata di valore, assieme al marito Frédéric Joliot si mise a lavorare nel solco della madre, e ben presto la superò. Infatti non scoprì nuovi elementi radioattivi ma inventò un modo per crearne di artificiali, cioè per convertire innocue sostanze stabili in

radioattive bombardandole con particelle subatomiche. Per queste ricerche le fu conferito il Nobel per la chimica nel 1935. Purtroppo, Irene utilizzava il polonio come bombardiere atomico. Un giorno del 1946, poco dopo la liberazione della Polonia dal giogo della Germania nazista e mentre era in corso la sua trasformazione in Stato fantoccio dei sovietici, una capsula di polonio esplose nel suo laboratorio e un'alta dose di quell'elemento, tanto amato dalla madre, le finì nei polmoni. Non ci furono foto umilianti e inchieste come nel caso Litvinenko, ma Irène Joliot-Curie morì di leucemia nel 1956, proprio come Marie ventidue anni prima.

La morte tragica di Irene fu una crudele beffa del destino, perché le sostanze radioattive artificiali, la cui produzione a basso costo fu resa possibile proprio dalle sue scoperte, oggi sono importanti strumenti di diagnosi medica. Se assunti in piccole dosi, questi cosiddetti «traccianti» rendono gli organi e i tessuti molli studiabili come se fossero ossa ai raggi X. Li si può trovare in quasi tutti gli ospedali del mondo e c'è una nuova disciplina, la medicina nucleare, dedicata al loro studio. Eppure la storia dei traccianti iniziò come una bravata studentesca, compiuta da un amico di Joliot come atto dimostrativo nei confronti di una padrona di casa taccagna.

Nel 1910, poco prima che Marie Curie ricevesse il secondo Nobel, il giovane György Hevesy giunse in Inghilterra per fare ricerche sulla radioattività. Il suo direttore di laboratorio all'Università di Manchester, Ernest Rutherford, gli affidò come primo compito un'impresa erculeo: separare gli atomi radioattivi da quelli stabili all'interno di un pezzo di piombo. In effetti risultò che l'impresa non era solo improba, ma semplicemente impossibile. Rutherford aveva dato per scontato che la sostanza di cui era a caccia, il cosiddetto radio-D, fosse chimicamente diversa, ma in realtà si trattava di piombo radioattivo, non separabile dal resto del piombo con metodi chimici. Non sapendolo, Hevesy perse due anni del suo tempo in questo lavoro noiosissimo prima di gettare la spugna.

Questo aristocratico ungherese – dal viso affilato, baffuto e con lo sguardo malinconico – incontrava frustrazioni anche sul fronte domestico. Lontano da casa e uso a ben altri sapori, Hevesy si adattò a vivere in una pensione dove la cucina lasciava molto a desiderare. Avendo notato una ciclicità nel menù settimanale, finì col sospettare che, allo stesso modo degli avanzi di bistecche del lunedì che vengono riciclati come polpette il giovedì nella mensa di un collegio, la carne quotidiana che la signora spacciava per «fresca» non lo fosse affatto. Allorché pose la questione, lei si dichiarò innocente, così Hevesy si decise a cercare qualche prova.

Per un caso fortunato, proprio in quei giorni aveva avuto un'intuizione notevole in laboratorio. Il radio-D ancora se ne stava nascosto nel piombo, ma si era reso conto che avrebbe potuto sfruttarlo per altri scopi. Per esempio, prese a contemplare la possibilità di iniettarne minuscole quantità in un organismo vivente e seguirne le traiettorie biochimiche: la cavia infatti avrebbe metabolizzato allo stesso modo il piombo radioattivo e quello non radioattivo, e il radio-D avrebbe disseminato tracce sul proprio cammino. Se la cosa funzionava, sarebbe stato possibile seguirlo nei suoi movimenti, tra vene e organi, con un grado di risoluzione senza precedenti.

Prima di fare esperimenti su un essere vivente, Hevesy decise di mettere alla prova la sua idea sui tessuti di un organismo morto e gli venne in mente di unire l'utile al dilettevole. Una sera a cena si servì di un'abbondante porzione di carne e in un momento di distrazione della padrona, vi aggiunse una spolverata di piombo «attivato». A fine pasto la donna raccolse i piatti sporchi con gli avanzi come al solito. Il giorno dopo Hevesy portò con sé un contatore di radiazioni nuovo di zecca inventato dal suo collega di laboratorio Hans Geiger. E come aveva sospettato, non appena lo passò sopra lo spezzatino si scatenò un concerto a base di «clic». Hevesy mise la padrona della pensione davanti all'evidenza. Da scienziato romantico, avrà indubbiamente dato una spiegazione colorita dei misteri della radioattività. Alla fine la donna era così affascinata e anche lusingata per esser stata oggetto di un così astuto ed avanzato esperimento.

to che non si arrabbiò nemmeno. La storia però non ci dice se da quel giorno il menù sia cambiato.

Poco dopo la scoperta dei traccianti radioattivi, la carriera di Hevesy decollò, atterrando su progetti di ricerca interessanti, a cavallo tra fisica e chimica. Eppure questi due campi si stavano separando sempre più, e la maggior parte degli scienziati optavano per l'uno o per l'altro. I chimici erano più interessati agli atomi interi e ai loro legami, mentre i fisici erano affascinati dalle particelle subatomiche e dalla novità del momento, la meccanica quantistica, una bizzarra ma elegante teoria della materia. Hevesy lasciò l'Inghilterra nel 1920 per studiare a Copenaghen con Niels Bohr, uno dei padri della fisica quantistica. E fu lì che i due scienziati, senza volerlo, allargarono il fossato tra fisica e chimica facendone una vera spaccatura politica.

Nel 1922 la casella corrispondente al numero 72 della tavola periodica era ancora vuota. I chimici avevano capito che gli elementi compresi tra il 57 (lantanio) e 71 (lutezio) avevano tutti l'impronta inconfondibile delle terre rare. Le caratteristiche del 72 rimanevano in sospeso. Nessuno sapeva se attaccarlo alla coda dei lantanidi, difficili da distinguere e da separare, o classificarlo provvisoriamente come un metallo di transizione, meritevole di stare in una colonna tutta sua. Nel primo caso, una strategia per trovarlo sarebbe stata cercare tra i minerali del lutezio.

Secondo la leggenda, Niels Bohr, solo nel suo ufficio e con la sola forza della teoria, costruì una dimostrazione quasi euclidea del fatto che l'elemento 72 *non* era una terra rara apparentata al lutezio. Ricordiamo che all'epoca il ruolo degli elettroni in chimica non era perfettamente compreso e che Bohr si appoggiò per i suoi calcoli alle strane regole della fisica quantistica, che fissa norme abbastanza precise sulla presenza degli elettroni nei livelli energetici dei vari elementi. Il lutezio ha gli orbitali f pieni in ogni ordine di posto, quindi Bohr ne dedusse che l'elemento successivo non aveva altra scelta: doveva iniziare a mettere gli elettroni in bella vista e comportarsi come un vero metallo di transizione. Per dimostrare il suo assunto, il fisico danese chiese a Hevesy e al collega Dirk Coster di esaminare attentamente alcuni campioni di zirconio, l'ele-

mento situato sopra il 72 nella tavola periodica, nonché suo probabile parente. In quella che deve essere stata la scoperta scientifica meno faticosa nella storia della chimica, i due trovarono il 72 al primo tentativo. Lo battezzarono afnio, da Hafnia, il nome latino della città di Copenaghen.

La meccanica quantistica aveva già convinto molti fisici, ma i chimici la trovavano una teoria sgraziata e non intuitiva. Non era testardaggine quanto pragmatismo: quel buffo modo di rappresentare gli elettroni sembrava non avere nulla a che fare con le vere reazioni. La previsione azzeccata di Bohr sull'afnio, però, fatta senza mettere piede in laboratorio, costrinse anche i più recalcitranti ad ammettere che c'era del vero. Il caso volle che il successo di Hevesy e Coster avvenisse poco prima della cerimonia ufficiale di conferimento del Nobel a Bohr. Il fisico danese ne fu informato per telegramma quando era già a Stoccolma e annunciò al mondo la scoperta durante un discorso pubblico. La meccanica quantistica sembrava la teoria trionfante sul piano evolutivo, capace di entrare nei dettagli della struttura atomica, al contrario della chimica. Nella comunità scientifica cominciarono a correre voci, e Bohr – che da parte sua era già incline a una sorta di misticismo scientifico – fu investito dell'aura da oracolo, come già era accaduto a Mendeleev.

In ogni caso, questa è la leggenda. La verità è un po' diversa. Almeno tre altri studiosi prima di Bohr, tra cui un chimico che il danese considerava tra i suoi maestri, a partire dal 1895 avevano pubblicato articoli di ricerca in cui ipotizzavano che l'elemento 72 fosse legato ai metalli di transizione come lo zirconio. Questi uomini non erano geni in anticipo sui tempi, ma normali chimici che non conoscevano la meccanica quantistica o non ne erano interessati. Sembra che Bohr si sia appropriato dei loro ragionamenti e abbia probabilmente usato i suoi calcoli quantistici per giustificare a posteriori una argomentazione *chimica* – meno romantica ma nondimeno valida – a favore di quella posizione sulla tavola.⁴

Tuttavia, come per tutte le leggende, quello che conta non è la verità ma le conseguenze – in questo caso, la reazione della comunità scientifica. E quando la voce si dif-

fuse, tutti volevano chiaramente credere che Bohr avesse trovato l'afnio solo grazie alla meccanica quantistica. La fisica aveva sempre cercato di smontare la grande macchina dell'universo in meccanismi sempre più piccoli, e per molti lo scienziato danese era riuscito a ridurre una roba vecchia e polverosa come la chimica a una branca specializzata, anche interessante, della fisica. I filosofi della scienza colsero anch'essi l'occasione per proclamare la fine della chimica di Mendeleev e il trionfo della fisica di Bohr, dominatrice incontrastata del reame. Quella che era iniziata come una discussione scientifica divenne una polemica politica su territori e frontiere. Così è la scienza, così è la vita.

Tutto ciò rese ancora più famoso l'uomo al centro delle vicende, cioè Hevesy. Fu candidato al Nobel del 1924 per la scoperta dell'afnio, ma in quell'occasione saltò fuori una disputa di priorità con un chimico francese, nonché pittore dilettante. Georges Urbain, che aveva già cercato di mettere in difficoltà – senza riuscirci – Henry Moseley con il suo campione di terre rare, aveva scoperto il lutezio nel 1907. Molto tempo dopo pretendeva di aver scoperto anche l'afnio, o meglio un suo minerale, frammisto ai campioni che aveva esaminato per la sua prima scoperta. La maggioranza dei colleghi non ne era convinta, ma purtroppo l'Europa del 1924 stava ancora guarendo dalle ferite di una guerra recente, dunque la disputa si colorò di sgradevoli tinte nazionaliste. (I francesi consideravano Bohr e Hevesy «tedeschi», anche se ovviamente non lo erano; un periodico scrisse che le loro scoperte «puzzavano di unno», come se gli elementi li avesse trovati Attila redivivo). Oltretutto Hevesy era considerato un mezzo eretico dai chimici, viste le sue incursioni nel terreno della fisica. Questo, unito alle baruffe nazionaliste, spinse l'Accademia svedese a non dargli il premio, che nel 1924 non fu assegnato proprio a nessuno.

Amareggiato ma non piegato, Hevesy lasciò Copenaghen e si trasferì in Germania, dove continuò le sue importanti ricerche sui traccianti. Nel tempo libero, contribuì persino a determinare a quale velocità il corpo umano ricicla in media una molecola d'acqua (nove giorni): ogni giorno beveva di

sua volontà una speciale «acqua pesante» (in cui alcuni atomi di idrogeno contengono un neutrone extra) e raccoglieva l'urina, che veniva pesata (come abbiamo visto nel caso dei piatti di carne riciclata, non andava troppo per il sottile con i protocolli di ricerca).⁵ Nel frattempo diversi chimici, tra cui Irene Joliot-Curie, sostennero a più riprese la sua candidatura al Nobel, ma senza successo. Ignorato di anno in anno, Hevesy cominciò a disperare. Ma contrariamente a quanto successe a Gilbert Lewis, la palese ingiustizia ne rinforzò stranamente il prestigio presso la comunità scientifica internazionale.

A un certo punto le sue origini ebraiche gli crearono problemi assai più tragici che un mancato premio. Negli anni Trenta fuggì dalla Germania nazista e ritornò a Copenaghen, dove rimase fino al 1943. Nell'agosto del 1940, quando le truppe occupanti bussarono alla porta dell'istituto di Bohr, il coraggio di Hevesy fu all'altezza della situazione. Due scienziati tedeschi, uno ebreo e l'altro oppositore del regime, avevano spedito le medaglie d'oro del loro premio Nobel a Niels Bohr perché le mettesse al sicuro: in Germania infatti con ogni probabilità sarebbero state confiscate dai nazisti. Hitler aveva successivamente decretato che l'esportazione di oro fosse un crimine contro lo Stato, cosicché la scoperta delle medaglie in Danimarca poteva portare all'esecuzione. Hevesy propose di seppellirle, ma a Bohr sembrò una soluzione troppo ovvia. Così, nelle parole dello scienziato ungherese, «mentre l'invasore marciava per le strade di Copenaghen, io ero impegnato a sciogliere le medaglie di Max von Laue e James Franck». All'uopo utilizzò una miscela caustica di acido nitrico e cloridrico, chiamata «acqua regia» dagli alchimisti perché in grado di sciogliere anche un metallo «regale» come l'oro (pur con una certa difficoltà, ricorda Hevesy). Quando i nazisti saccheggiarono l'istituto di Bohr, alla ricerca di oggetti preziosi o prove di complotti, non si accorsero nemmeno di quel becher pieno di liquido arancione. Hevesy scappò a Stoccolma nel 1943 e quando ritornò al suo laboratorio in rovina dopo l'8 maggio 1945, lo trovò ancora intatto su uno scaffale. Fece allora precipitare l'oro, che l'Accademia svedese rimodellò per restituire le medaglie a Franck e a von

Laue. In tutto questo, Hevesy si lamentò solo del tempo perso mentre era lontano dal laboratorio.

Pur nel mezzo di tante avventure Hevesy continuò a collaborare a varie ricerche, tra cui quelle dei Joliot-Curie. Si trovò anzi a essere testimone involontario di un colossale errore della coppia francese, che impedì loro di fare una delle grandi scoperte scientifiche del secolo. L'onore sarebbe toccato a un'altra donna, un'ebrea austriaca di nome Lise Meitner, che come Hevesy era sfuggita alle persecuzioni naziste. Purtroppo per lei, la sua vicenda personale e scientifica si intrecciò con la politica con conseguenze assai peggiori.

Assieme con Otto Hahn, suo collaboratore di poco più giovane di lei, Lise Meitner iniziò a far ricerche in Germania poco prima che fosse scoperto l'elemento 91. Nel 1913 il chimico polacco Kazimierz Fajans aveva individuato una piccola quantità di atomi di questo elemento, tutti con tempo di dimezzamento molto corto, tanto che aveva proposto di chiamarlo «brevio». Nel 1917 Meitner e Hahn si accorsero che si trattava di un isotopo instabile di un elemento che in genere durava per migliaia di anni, dunque «brevio» sarebbe stato davvero un nome infelice. Lo ribattezzarono «protoattinio», cioè «che viene prima dell'attinio», visto che l'attinio era, appunto, il prodotto del decadimento.

Non c'è dubbio che Fajans abbia protestato contro questo colpo di mano. Era considerato un uomo di modi squisiti e frequentava l'alta società, ma secondo i colleghi aveva anche un lato combattivo, che esternava senza peli sulla lingua in ambito professionale. Circola addirittura una voce secondo cui l'Accademia aveva già votato Fajans come vincitore del Nobel per la chimica del 1924 (quello che si dice fosse stato sottratto a Hevesy), ma era tornata sui suoi passi e aveva mandato all'aria tutto per punirlo della sua sicumera: prima dell'annuncio ufficiale, in un giornale svedese era apparsa una sua foto con la didascalia «K. Fajans, prossimo vincitore del premio Nobel». Secondo il diretto interessato le cose andarono ben diversamente, e l'ostracismo venne da un po-

tente membro del comitato, che ce l'aveva con lui per motivi personali.⁶ (Mentre secondo l'Accademia quell'anno il premio non fu assegnato per motivi finanziari: si dovevano rimpinguare le riserve decimate dalle alte tasse imposte dal governo. Ma questa è la seconda versione, diffusa dopo un'ondata di proteste. La prima sosteneva che i premi in varie discipline non sarebbero stati assegnati a causa della «mancanza di degni candidati». La verità potrebbe non venire mai a galla, visto che i documenti relativi sono stati classificati «riservati per sempre»).

Sia come sia, il brevio perse e il protoattinio vinse. Oggi c'è chi annovera anche Meitner e Hahn tra gli scopritori dell'elemento 91. Ma dietro alla storia del nome ce n'è un'altra più interessante. L'articolo con cui fu dimostrata la lunga emivita del protoattinio tradiva già i primi segni della strana devozione che la donna dimostrava nei confronti del collega. Nulla di sentimentale o erotico (Meitner non si sposò mai e di lei non sono noti amanti), ma dal punto di vista professionale era vero amore. Forse perché Hahn aveva riconosciuto il suo valore e aveva scelto di lavorare con lei, nonostante dovessero utilizzare un laboratorio improvvisato, ricavato da un vecchio ferramenta, visto che nessun centro di ricerca in Germania voleva assumere una donna. Isolati nella loro bottega, i due instaurarono un bel rapporto: lui si occupava della parte chimica, identificando gli elementi presenti nelle sostanze radioattive, lei della parte fisica, cercando di capire come il tutto funzionasse. Nel caso del protoattinio, però, contrariamente al solito fu Meitner a fare tutto il lavoro in vista della pubblicazione dei risultati, perché Hahn era occupato con la guerra chimica nel conflitto mondiale. Lei comunque diede credito anche al collega (ricordiamoci questo particolare).

Dopo la guerra ricominciarono a lavorare insieme, in un periodo scientificamente entusiasmante ma politicamente terribile. Hahn era il classico ariano dalla mascella volitiva e non aveva nulla da temere dopo l'avvento al potere dei nazisti nel 1932. Eppure gli va dato atto che l'anno successivo, quando Hitler cacciò i professori ebrei dalle università, dando il via alla prima ondata di emigrazione intellettuale, si dimise per prote-

sta e abbandonò la cattedra (pur continuando a frequentare l'accademia per certi seminari). Meitner era stata educata in Austria alla fede protestante, ma aveva nonni ebrei. Manifestando un tratto tipico del suo carattere, e forse spinta anche dalla voglia di tenersi il posto in un laboratorio ufficiale che aveva finalmente conquistato, fece finta di non vedere il pericolo e si immerse nel lavoro, che l'avrebbe portata a straordinarie scoperte nel campo della fisica nucleare.

La svolta nella disciplina avvenne nel 1934, quando Enrico Fermi annunciò di aver prodotto i primi elementi transuranici bombardando l'uranio con particelle subatomiche. Si scoprì poi che non era vero, ma il mondo scientifico fu messo in subbuglio dalla possibilità che la tavola periodica si estendesse oltre il numero 92. Una pirotecnica girandola di nuove ipotesi ed esperimenti tenne occupati i ricercatori ai quattro angoli del globo.

Lo stesso anno un'altra leader del settore, Irene Joliot-Curie, fece anche lei i suoi bravi bombardamenti e, dopo attente analisi chimiche, annunciò che i nuovi elementi transuranici avevano un'inquietante somiglianza con il lantanio, la prima delle terre rare. Era davvero un fatto inaspettato, tanto che Hahn non volle crederci. Non era possibile che un atomo così grosso si comportasse come quello assai più piccolo di un elemento molto distante nella tavola periodica. Fece educatamente osservare a Joliot-Curie che aveva preso una cantonata e si ripromise di rifare gli esperimenti per dimostrare che il lantanio non c'entrava un bel niente.

Nel 1938, intanto, il mondo crollava attorno a Lise Meitner. Hitler si prese l'Austria senza troppi scrupoli, con l'intento di far rientrare nel seno del Reich i cugini del sud – naturalmente a patto che non avessero nemmeno una goccia di sangue ebreo. La scienziata divenne una potenziale vittima dei pogrom nazisti, e quando un collega la denunciò non poté far altro che scappare, così come si trovava e con soli dieci marchi in tasca. Trovò rifugio in Svezia e un lavoro (ironia della sorte) in un istituto scientifico dedicato ad Alfred Nobel.

Nonostante questi drammi, Hahn rimase fedele alla collega e continuò a collaborare con lei a distanza. Si scambia-

vano lettere come amanti clandestini e a volte riuscivano a incontrarsi a Copenaghen. Durante uno di questi appuntamenti, a fine 1938, Hahn si mostrò turbato. Aveva rifatto gli esperimenti di Joliot-Curie e aveva ritrovato gli stessi elementi, che però non si comportavano come lantanio (e bario, altro elemento che non abbiamo menzionato sopra): *erano* lantanio e bario. Hahn era considerato il miglior chimico analitico al mondo, ma quella scoperta «andava contro tutte le [sue] aspettative», come disse poi. In quell'occasione confessò a Meitner di non saper che pesci prendere.

La donna invece aveva un'idea ben precisa. Tra tutti i grandi scienziati che si erano occupati del caso, solo Lise Meitner ebbe sufficiente freddezza da capire che gli elementi in questione non erano affatto transuranici. Dopo averne parlato con il fisico Otto Frisch, suo nipote e (da poco) collega, dedusse che Fermi non aveva scoperto nuovi elementi, ma aveva realizzato la prima fissione nucleare, cioè aveva rotto l'uranio in elementi più piccoli e non aveva interpretato correttamente il fenomeno. Il fantomatico «eka-lantanio» era lantanio puro e semplice, prodotto della prima esplosione nucleare in laboratorio. Hevesy, che aveva letto le bozze dell'articolo di Joliot-Curie, disse che con il senno di poi la donna era arrivata vicinissima all'incredibile scoperta, ma che secondo lui «non era abbastanza sicura di sé» per credere a quell'ipotesi. Meitner evidentemente era sicura di quel che diceva, abbastanza da convincere Hahn che tutti i loro colleghi si stavano sbagliando.

Ovviamente, questi spinse per rendere subito pubblica questa straordinaria intuizione, ma la faccenda era complicata per motivi politici. Dopo aver esaminato varie soluzioni, Meitner accettò di non prendersi il merito e di indicare Hahn e il suo assistente come co-autori dell'articolo in cui si annunciava la nuova teoria; lei, assieme con Frisch, avrebbe in seguito pubblicato un articolo con l'interpretazione teorica dei risultati, che dava un senso al tutto, ma in un'altra rivista. L'era della fissione nucleare era iniziata, giusto poco prima dell'invasione della Polonia che avrebbe scatenato la seconda guerra mondiale.

Accadde allora una serie di improbabili eventi che culmina-

rono con la più famosa ingiustizia nella storia del Nobel. Pur non essendo a conoscenza del Progetto Manhattan, nel 1943 l'Accademia aveva deciso di premiare gli scopritori della fissione nucleare. Ma chi? Hahn era l'unico nome certo. Sul contributo di Meitner circolavano vari dubbi; a causa della guerra le comunicazioni e i viaggi erano difficili, dunque il comitato non riuscì a sentire il parere (fondamentale) di alcuni colleghi. Avevano solo a disposizione le principali riviste scientifiche, che arrivavano con mesi di ritardo, senza contare il fatto che le pubblicazioni tedesche, le più prestigiose, avevano bandito il nome di Meitner. Infine, la separazione sempre più netta tra chimici e fisici rendeva più difficile prendere una decisione circa una ricerca molto interdisciplinare.

Dopo quattro anni di sospensione a partire dal 1940, nel 1944 l'Accademia riprese a conferire i premi, alcuni dei quali con effetto retroattivo. Hevesy, finalmente, vinse quello del 1943 per la chimica – anche se ci fu chi interpretò la cosa come un gesto politico, a risarcimento di tutti gli scienziati che erano dovuti fuggire. Nel 1945 fu poi l'ora di prendere una decisione circa il premio del 1944, dedicato alla fissione. Sia Meitner sia Hahn avevano forti supporter nel comitato, ma uno dei più strenui difensori del tedesco ebbe la faccia tosta di affermare che la collega non aveva fatto «ricerche di grande importanza» negli anni precedenti, cioè quando cercava di sfuggire ai nazisti. (Non si è mai capito perché nessuno si prese la briga di sentire Meitner in persona, che lavorava a Stoccolma; c'è da dire che in genere è considerato scorretto intervistare direttamente i candidati). Il principale supporter della donna premeva perché il premio fosse diviso tra i due, e probabilmente avrebbe vinto lui se non fosse morto all'improvviso. Così nel comitato si trovarono in maggioranza i filotedeschi e Hahn vinse il Nobel del 1944 da solo.

Il chimico tedesco apprese la notizia della vittoria mentre era prigioniero degli Alleati, accusato di aver contribuito al programma nucleare nazista (accusa da cui fu poi prosciolto). E, a sua vergogna, non protestò per l'esclusione della collega. La donna che un tempo era stata così degna della sua stima da spingerlo a sfidare le gerarchie e a lavora-

re con lei in un laboratorio di fortuna rimase con un pugno di mosche, vittima di «pregiudizi settari, ottusità politica, ignoranza e fretta».⁷

Il comitato avrebbe potuto rimediare all'errore nel 1946 o negli anni successivi, quando fu chiaro a chi spettasse il merito della scoperta. Importanti figure all'interno del Progetto Manhattan fecero dichiarazioni a favore di Meitner, ma il comitato Nobel, famoso per essere «permaloso come una vecchia zitella» (nelle parole del «Time»), non volle ammettere di essersi sbagliato. E così, pur essendo candidata varie volte, con il supporto tra gli altri di Kazimierz Fajans (che conosceva più di altri il dolore dell'ingiustizia subita), Lise Meitner morì nel 1968 senza aver mai ottenuto il premio.

La storia, però, a volte regola i torti a modo suo. L'elemento transuranico 105 era stato battezzato in prima istanza «hahnio», in onore appunto di Otto Hahn, dai suoi scopritori, Glenn Seaborg, Al Ghiorso e altri, nel 1970. Ma dopo una lunga disputa relativa a chi avesse diritto a scegliere il nome, un comitato internazionale lo ribattezzò «dubnio» nel 1997. Grazie alle contorte norme che regolano l'assegnazione dei nomi,⁸ nessuno potrà mai, in futuro, riproporre «hahnio» per un altro elemento. Hahn si tenga pure il suo Nobel: Lise Meitner ha ottenuto un'onorificenza assai più esclusiva di un premio che viene assegnato ogni anno, perché l'elemento 109 è e sempre sarà chiamato con il suo nome, «meitnerio».

ELEMENTI COME DENARO

³⁰ Zn 65.384	⁷⁹ Au 196.967	⁵² Te 127.603	⁶³ Eu 151.964	¹³ Al 26.982
-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

Se la tavola periodica ha frequentato la politica, essa ha avuto una relazione ancor più lunga e appassionata con il denaro. Non si può raccontare la storia di numerosi elementi metallici senza rimanere invischiati nella storia della moneta, che a sua volta è inseparabile da quella delle falsificazioni. Nel corso dei secoli i mezzi di pagamento hanno assunto le forme più disparate: capi di bestiame, spezie, denti di narvalo, sale, fave di cacao, sigarette, zampe di coleottero e tulipani erano monete che neppure il più abile falsario poteva verosimilmente contraffare. Con i metalli, invece, i truffatori hanno sempre avuto la vita più facile. Quelli di transizione, in particolare, si comportano in modo simile dal punto di vista chimico e hanno più o meno la stessa densità, perché hanno tutti un certo tipo di configurazione elettronica; possono quindi mescolarsi e prendere l'uno il posto dell'altro nelle leghe. Abili combinazioni di metalli preziosi e assai meno preziosi ci ingannano da millenni.

Attorno al 700 a.C., un principe di nome Mida salì sul trono della Frigia, una regione dell'attuale Turchia. A dar credito alle molte leggende sul suo conto (che potrebbero addirittura riferirsi a due diversi monarchi con lo stesso nome) ebbe un'esistenza movimentata. Il permaloso dio della musica

Apollo gli chiese di fare da arbitro in una sfida tra lui e i più grandi suonatori di lira dell'epoca, e quando Mida assegnò la vittoria a un altro lo punì affibbiandogli un paio di orecchie d'asino (perché chi non capiva nulla di musica non meritava orecchie umane). La leggenda dice anche che Mida possedesse il più bel roseto di tutto il mondo antico. A livello scientifico, talvolta gli si attribuisce la scoperta dello stagno (falso, anche se è vero che nel suo regno c'erano miniere di questo metallo) e quella dei minerali detti «piombo nero» (la grafite) e «piombo bianco» (un pigmento a base di piombo tanto luccicante e gradevole alla vista quanto tossico). Ma oggi non è certo ricordato per questi motivi, bensì per la sua capacità di tramutare in oro tutto quel che toccava. L'acquisto per essersi preso cura del satiro Sileno, che una notte si era addormentato, ubriaco fradicio, nel suo roseto. Sileno apprezzò a tal punto l'ospitalità del sovrano che gli offrì una ricompensa a sua scelta. Mida chiese, per l'appunto, di trasformare in oro tutto ciò che toccava – potere che gli causò guai e dolori, come quando uccise la figlia abbracciandola, o come quando si accorse che non riusciva a mangiare più nulla perché ogni alimento che toccava le sue labbra diventava d'oro.

Naturalmente nulla di tutto ciò è davvero accaduto al vero re Mida, ma è probabile che la sua fama di grande metallurgo fosse meritata. L'Età del Bronzo iniziò in quella zona attorno al 3000 a.C. La fusione del bronzo, una lega di stagno e rame, era allora il settore tecnologico di punta; e benché questo metallo fosse sempre costoso, ai tempi di re Mida la tecnica della fusione in bronzo era già penetrata in molte zone dell'Asia Minore. Quando in quella che era un tempo la Frigia fu trovata una tomba con le spoglie di un re comunemente chiamato Mida (ma che poi si rivelò essere suo padre Gordia), lo scheletro era circondato da manufatti in bronzo, tra cui coppe con iscrizioni di buona fattura, e aveva come unico ornamento una cintura dello stesso materiale. Devo però entrare nei dettagli: il bronzo non è come l'acqua, che è sempre formata combinando due parti di idrogeno con una di ossigeno, ma si può realizzare con ricette diverse e metalli in varie proporzioni. Nel mondo anti-

co lo si produceva in vari colori, a seconda delle percentuali di stagno, rame e altri metalli presenti nella lega.

Una caratteristica peculiare dei giacimenti di metalli nei paraggi della Frigia era l'abbondanza di minerali di zinco. Lo zinco e lo stagno si trovano spesso frammisti in natura ed è facile confonderli. La cosa interessante è che mescolando zinco e rame non si ottiene bronzo, ma un metallo giallo: l'ottone. E in effetti le fonderie di ottone più antiche di cui si abbia notizia si trovavano precisamente nella regione dell'Asia Minore dove un tempo regnava Mida.

Ci siete arrivati? Provate a confrontare un oggetto di bronzo con uno di ottone. Il primo è scintillante, con chiari riflessi ramati, ed è difficile scambiarlo per qualcos'altro. Il secondo è più seducente, più complesso, più... dorato. Il tocco di Mida, con buona probabilità, era solo dovuto a un tocco di zinco, metallo che gli accidenti della geografia gli avevano fatto trovare nel suo angolo di Asia Minore.

Per verificare questa teoria, nel 2007 un professore di metallurgia dell'Università di Ankara e alcuni storici ricostruirono una fornace primitiva dell'epoca di re Mida e la caricarono di minerali locali. Li fusero, fecero colare il liquido risultante negli stampi e lo fecero raffreddare. Meraviglia delle meraviglie, il metallo si solidificò in lingotti di un incredibile colore dorato. Ovviamente non c'è modo di sapere se i contemporanei di re Mida credessero davvero che queste preziose coppe, statuette e cinture in lega di zinco fossero d'oro, ma non furono necessariamente loro a creare le leggende sul suo conto. Più probabilmente, i coloni greci che si stabilirono poi sulle coste dell'Asia Minore furono affascinati dai «bronzi» della Frigia, tanto più belli e scintillanti dei loro. Le storie che si raccontavano in Grecia potrebbero essersi gonfiate di generazione in generazione, fino a tramutare la lega dal colore dorato in oro *tout court*. Il potere molto terreno di un eroe locale diventò così il potere soprannaturale di creare metalli preziosi. Parecchi secoli più tardi il genio di Ovidio abbellì la storia per inserirla nelle sue *Metamorfosi*, ed ecco fatto: un mito con un'origine assai plausibile.

Ancora più profondamente radicato di re Mida nella nostra cultura è l'archetipo della città perduta dell'oro, con i racconti di viaggiatori in terre lontane ed esotiche che si imbattono per caso nei resti di un'antica civiltà favolosamente ricca: l'Eldorado. In tempi moderni e (leggermente) meno inclini alle favole, questo sogno prende sovente la forma della corsa all'oro. Chiunque abbia prestato un minimo di attenzione al corso di storia sa che la grande corsa all'oro non fu un'impresa romantica ma un'avventura terribile, sporca e pericolosa, con orsi famelici, baracche infestate di pulci, crolli nelle miniere, gioco d'azzardo, prostituzione e sogni infranti. La probabilità di arricchirsi era quasi zero. Eppure chiunque non fosse totalmente privo di immaginazione all'epoca pensò almeno una volta di mollare la propria vita banale e mettersi a caccia di qualche pepita. La voglia di avventura e la brama di ricchezza sembrano proprio innati nel genere umano, ed è per questo che la storia è costellata di innumerevoli corse all'oro.

La natura, ovviamente, non ha nessuna intenzione di regalarci i suoi frutti senza farci penare, così ha inventato la pirite (disolfuro di ferro) per ingannare i cercatori dilettanti. Questo crudele minerale, detto «l'oro degli sciocchi», splende ancor più dell'oro vero, come un lingotto in un cartone animato o nei nostri sogni. Non pochi, accecati dall'insipienza o dall'avidità, si sono lasciati ingannare. Il caso più eclatante, la corsa all'oro più folle della storia, avvenne forse nel 1896 in Australia, nelle terre di frontiera. Se la pirite è l'oro degli sciocchi, qui il protagonista fu un minerale che potremmo chiamare la «pirite degli sciocchi». Per raccoglierlo, i cercatori si ridussero a distruggere a martellate le loro case e a setacciare febbrilmente le macerie.

Tutto cominciò nel 1893, quando tre irlandesi, tra cui Patrick (Paddy) Hannan, si trovarono bloccati durante un viaggio all'interno dell'Australia perché uno dei cavalli aveva perso il ferro. Fu forse il più fortunato incidente della storia, perché si erano fermati in un posto pieno d'oro. In pochi giorni, senza dover neppure scavare, raccolsero in giro circa quattro chili di pepite. Onesti ma poco furbi, i tre fecero una richiesta ufficiale di concessione, e grazie a quest'atto pubblico tutti

vennero a sapere dove si trovava l'oro. Nel giro di poche settimane, centinaia di cercatori si precipitarono in cerca di fortuna nella zona, subito battezzata «Hannan's Find» («la scoperta di Hannan»).

In un certo senso era un lavoro facile, visto che in quei primi mesi l'oro pareva essere più abbondante dell'acqua. Sembra un sogno, ma non lo è: la zona è desertica, e l'oro non si beve. Con l'arrivo di nuove orde di cercatori, il prezzo delle derrate alimentari si impennò e la competizione divenne feroce. Si iniziò a scavare. Qualcuno si accorse che era possibile guadagnare soldi costruendo un vero paese, con bar e bordelli, a cui seguirono case e persino strade lastricate. Per erigere Hannan's Find si usarono i materiali di risulta degli scavi, che i minatori in genere lasciavano lì in grossi mucchi perché non sapevano che farsene. Dopo tutto erano pietre inutili.

O così sembrava. L'oro è un metallo molto snob, che non si mischia a creare minerali perché non ama formare legami con altri elementi. Le pagliuzze e le pepite che si trovano sono in genere pure, con qualche strana eccezione. L'unico elemento capace di legarsi all'oro è il tellurio, metalloide dall'aspetto vampiresco isolato per la prima volta in Transilvania nel 1782. I minerali che questi due elementi formano hanno nomi stravaganti: krennerite, petzite, silvanite e calaverite. Le loro formule chimiche sono da incubo. La krennerite, per esempio, invece di combinare atomi in semplici proporzioni come H_2O e CO_2 , si scrive come $(Au_{0,8}Ag_{0,2})Te_2$. Si presentano sotto varie forme, e la calaverite in particolare è luccicante e giallastra.

A essere precisi sembra più ottone o pirite che oro, ma la somiglianza è sufficiente a trarre in inganno chi ha passato tutta la giornata sotto il sole del deserto. Immaginate un ragazotto incolto, con le mani sporche di terra, che a fatica trascina la sua calaverite fin dallo stimatore di Hannan's Find, solo per sentirsi dire che quella roba non è altro che *bagoshite* («sacodimerdite»), per usare il gergo dei mineralisti faceti. Oltretutto, come ricorderete, certi composti del tellurio (anche se non la calaverite) hanno un terribile puzzo d'aglio, un odore talmente forte che è difficilissimo da eliminare. Meglio prendere quel sacco di pietre e venderlo a chi costruisce le strade:

sotto terra nessuno sentirà la puzza. E si torna a scavare con il miraggio di fare fortuna.

I cercatori continuavano ad arrivare, e le derrate e l'acqua ad aumentare di prezzo. La scarsità di approvvigionamenti fece scoppiare veri e propri tumulti. Tra quella gente disperata, cominciò a circolare la voce che le pietre giallastre che tutti buttavano via fossero in realtà preziose. Un rozzo minatore dell'epoca non poteva sapere cosa fosse la calaverite, ma si trattava dopo tutto di un minerale già noto ai geologi, che sapevano per esempio che si scompone a basse temperature, il che rende la separazione dell'oro da gli altri metalli molto semplice. La sua scoperta risaliva al 1860 circa, in Colorado.¹ È probabile che un gruppo di esploratori radunati attorno a un falò si sia accorto la mattina dopo che le pietre con cui avevano circondato il fuoco trasudavano un materiale che – da non credere – somigliava all'oro. Ben presto questa storia arrivò anche a Hannan's Find.

Il 29 maggio 1896 scoppiò il finimondo. Si venne a sapere che la calaverite usata per costruire Hannan's Find conteneva anche quindici chili d'oro per tonnellata di roccia. I minatori presero il piccone e si misero a spaccare tutto per tirarne fuori fino all'ultimo grammo. Cominciarono a rovistare nei mucchi di materiali di scarto, e quando questi furono ben ripuliti passarono a case e strade del paese. Le strade lastricate ritornarono sterrati pieni di buche, i marciapiedi sparirono, e c'è da scommettere che il minatore che aveva costruito con le sue mani il caminetto della sua nuova casa con mattoni al tellurio non abbia avuto troppe remore a demolirlo.

Nei decenni seguenti, la regione intorno a Hannan's Find, oggi ribattezzata Kalgoorlie, divenne il primo produttore d'oro al mondo, meritandosi il titolo di *Golden Mile* («miglio d'oro»), grazie anche a tecnici locali che si vantavano di essere i più rapidi di tutti a estrarre il metallo dalla terra. Le generazioni successive hanno imparato la lezione, e al contrario dei loro antenati non gettano più via le pietre senza prima averle ben esaminate, nel caso trovassero un po' di pirite degli sciocchi.

Lo zinco della Frigia e il tellurio di Kalgoorlie furono rari casi di falsificazione involontaria, due momenti di innocenza in un oceano di frodi e raggiri. Circa un secolo dopo il regno di Mida, in Lidia (sempre in Asia Minore) apparvero i primi esemplari di monete, fatte di una lega naturale di argento e oro detta elettro. Poco dopo, un altro monarca antico favolosamente ricco, il re della Lidia Creso, scoprì come separare l'elettro in parti d'oro e d'argento, stabilendo così un vero sistema monetario. E qualche anno dopo Policrate, tiranno di Samo, si assicurò l'appoggio di Sparta comprandolo con lingotti di piombo placcati d'oro. Da allora i falsari non si sono più fermati e hanno usato piombo, rame, stagno e ferro come fanno gli osti disonesti quando aggiungono acqua al vino: per allungare un po' il valore della moneta.

Oggi la falsificazione è un classico caso di frode, ma in passato era considerata un crimine assai più grave. Poiché la quantità di moneta circolante era legata in modo assai stretto alla salute economica dello Stato, i sovrani la consideravano come un alto tradimento. Chi veniva scoperto rischiava di finire impiccato, o ucciso in modi anche più crudeli. La carriera del falsario ha sempre attirato gente che non capiva il concetto di rapporto costi-benefici, cioè il fatto che in genere si guadagna più denaro con il lavoro onesto che fabbricandoselo da sé, con rischio e fatica. Per sconfiggere i criminali e ideare denaro a prova di falsario si sono messi all'opera in passato anche grandi ingegni.

Uno di loro fu Isaac Newton. Dopo aver inventato l'analisi infinitesimale ed edificato quel monumento della teoria della gravitazione, verso la fine del Seicento fu nominato direttore della zecca reale. Arrivato a cinquant'anni e carico di onori, Newton voleva semplicemente un posto statale ben pagato, ma va detto a suo onore che non lo intese come una sinecura. Falsificare le monete, soprattutto limandone i bordi e utilizzando il ricavato per coniarne di nuove, era un'attività endemica nei bassifondi londinesi. Il grande scienziato si trovò ad avere a che fare con spie, vagabondi, ubriaconi e ladri – e a quanto pare la cosa gli piacque. Da cristiano devoto, Newton fece calare sui malviventi la mano pesante del Dio dell'Antico Testamento, senza alcuna

clemenza. Quando finalmente acciuffò William Chaloner, celebre quanto sfuggente falsario che l'aveva fatta franca per anni, lo fece impiccare e squartare sulla pubblica piazza.

Al tempo di Newton i falsari si dedicavano soprattutto alle monete, ma poco dopo la fine della sua carriera alla zecca la finanza mondiale dovette affrontare la nuova minaccia delle banconote false. I soldi di carta furono inventati dall'imperatore mongolo Kublai Khan nel Duecento. La novità si diffuse rapidamente in Asia, anche perché il Khan sterminava senza troppi complimenti chi non si piegava ai suoi voleri, ma in Europa penetrò con una certa fatica. La Banca d'Inghilterra iniziò l'emissione ufficiale di carta moneta solo nel 1694, ma i benefici di questa forma di pagamento erano noti da tempo. I metalli necessari per la fabbricazione delle monete erano costosi, il conio un procedimento complesso e il loro valore dipendeva eccessivamente dalla rarità e dalla distribuzione disomogenea delle risorse minerarie. E poiché la metallurgia era un'arte assai diffusa e avanzata, la contraffazione era più facile (al contrario di quanto accade adesso: chiunque sia in possesso di una stampante laser può produrre una banconota da venti dollari verosimile, mentre non conosco nessuno che abbia mai provato a fondere una moneta falsa, ammesso e non concesso che valga la pena fare tutta quella fatica).

Se la chimica dei metalli, e la loro propensione a formare leghe, un tempo aiutava i falsari, nell'epoca della carta moneta è lo strano comportamento di certi elementi, come l'europio, ad aiutare i governi a combattere le frodi. Esaminiamo da vicino l'atomo di europio, in particolare i moti dei suoi elettroni. Finora abbiamo visto queste particelle agire solo nei livelli esterni e creare i legami chimici, ma sappiamo che si muovono anche all'interno degli atomi, con traiettorie simili a quelle dei pianeti attorno al Sole. È un'analogia piuttosto azzeccata, ma non dobbiamo prenderla alla lettera. I corpi celesti hanno infinite orbite possibili, mentre gli elettroni hanno molte limitazioni: possono stare solo dentro precisi livelli energetici, che sono in numero discreto (cioè non ci sono livelli intermedi tra il primo e il secondo, tra il secondo e il terzo e così via), dunque possono orbitare

solo a certe distanze dal loro «sole», e lo fanno seguendo buffe traiettorie oblunghe. Altra differenza con i pianeti: se eccitato dal calore o dalla luce, un elettrone può saltare dall'orbita e salire su un livello più alto, se c'è posto. Ma non riesce a rimanere in quello stato troppo a lungo, dunque ricasca di sotto. Non è un semplice su e giù, però, perché nel frattempo la particella rilascia energia sotto forma di luce.

Il colore di questa luce emessa dipende dalla differenza tra i livelli energetici. Se è piccola, come per esempio quella tra i livelli due e uno, la luce tende al rosso; se è grande, come per esempio tra cinque e due, tende al violetto. E poiché le scelte possibili di livello sono limitate ai numeri interi, questo si riflette anche nel tipo di luce emessa, che non è simile a quella consueta delle lampadine, ma assume colori molto netti e ben delimitati. Ogni elemento ha livelli energetici a diverse distanze dal nucleo, quindi ha uno spettro caratteristico di colori, proprio quelli che Robert Bunsen aveva osservato per primo. La scoperta che i salti avvengono solo tra livelli discreti e non continui fu una delle intuizioni centrali della meccanica quantistica. Tutte le stranezze che avete sentito raccontare su questa teoria derivano più o meno direttamente da questa discontinuità di fondo.

L'europio può emettere luce grazie al meccanismo appena visto, ma non è molto ferrato in materia. Come i suoi fratelli lantanidi, non riesce ad assorbire con efficienza la luce o il calore (uno dei motivi per cui questi elementi sono stati a lungo difficili da identificare). Ma la luce è la moneta corrente del mondo atomico, convertibile in molti modi, e in effetti i lantanidi riescono a emetterla sotto forma diversa: la fluorescenza,² fenomeno familiare a chiunque abbia visto un poster psichedelico. In generale i processi in cui è coinvolta la luce interessano i soli elettroni, ma nel caso della fluorescenza entrano in gioco intere molecole. E mentre i primi assorbono ed emettono luce dello stesso colore (entra gialla, esce gialla), le seconde assorbono luce ad alta energia (ultravioletta) e la emettono a basse energie, cioè nello spettro del visibile. A seconda della molecola in cui è coinvolto, l'europio può dar vita a luce rossa, verde o blu.

Questa versatilità è la bestia nera dei falsari, perché rende l'europio un ottimo strumento per combattere le contraffazioni. Per tale motivo, l'Unione Europea usa l'elemento eponimo nell'inchiostro con cui stampa gli euro. Un pigmento fluorescente (nessuno sa quale, perché la normativa europea pare proibisca la divulgazione della sua composizione chimica, quindi chi vuole obbedire alla legge non può far altro che avanzare ipotesi) è legato ad alcuni ioni di europio e forma una molecola costituita da due parti distinte. La prima è il ricettore, o antenna, che è anche la parte più consistente. È lei che cattura la luce, come l'europio non sa fare, e la trasforma in energia elastica, trasferendola all'altra parte, dove si trova l'europio, che è in grado di assorbire energia in questa forma. Gli elettroni eccitati saltano a livelli più alti, ma prima che facciano in tempo a ridiscendere emettendo luce, una parte dell'energia in arrivo viene fatta «rimbalzare» e ritorna sull'antenna. Tutto ciò non accadrebbe con atomi isolati di europio: è la molecola che smorza e dissipa l'energia in modo tale da permetterlo. A causa di questa dispersione, gli elettroni che ritornano nello stato non eccitato emettono radiazioni luminose meno energetiche.

Perché questo meccanismo è utile? I pigmenti sono studiati in modo tale da farli apparire non fluorescenti se esposti alla luce normale, così che un falsario potrebbe pensare di aver realizzato la banconota perfetta. Ma se illuminiamo un biglietto con luce polarizzata, tutto cambia: sullo sfondo della carta diventata nera emergono vari filamenti colorati, orientati in modo casuale. La mappa schematica dell'Europa si colora di verde e sembra rappresentare un continente visto da qualche alieno dallo spazio. Una ghirlanda di stelle normalmente color pastello acquisisce una corona gialla o rossa, e i monumenti raffigurati sulle banconote, così come le firme e le varie filigrane, splendono di un blu brillante. Basta che manchi una sola di queste caratteristiche per essere sicuri che ci si trova di fronte a un falso.

Quindi le banconote dell'euro rappresentano due realtà: quella che vediamo tutti i giorni e una seconda, nascosta, sottostante alla prima – un codice segreto. Questo effetto è

assai difficile da riprodurre senza complesse competenze. I pigmenti all'europio, insieme ad altre misure di sicurezza, rendono l'euro la carta moneta più avanzata mai vista. Certo i falsi non sono scomparsi del tutto: finché ci sarà gente a cui piace tenersi i bigliettoni nel portafoglio ci sarà qualcuno che cercherà di fabbricarsi da sé. Ma nella lotta alle frodi, l'europio ha guadagnato un posto speciale tra gli elementi più preziosi della tavola periodica.

Falsi o non falsi, nel corso della storia molti elementi hanno svolto il ruolo di moneta a corso legale – a volte con scarso successo, come nel caso dell'antimonio (si veda il cap. 1). In particolari e tragiche circostanze, possono diventare preziosa merce di scambio. Primo Levi, mentre lavorava come chimico nel campo di Auschwitz, dove era internato, rubò dal laboratorio alcune barrette di cerio; questo materiale fa scintille ed è ideale per fabbricare degli accendini, che si potevano scambiare con pane e zuppa. Levi, che era entrato in campo di concentramento a inizio 1944, cominciò a trafficare con il cerio a novembre dello stesso anno. A suo parere fu solo grazie a quel materiale se riuscì a sopravvivere abbastanza per arrivare vivo fino al gennaio 1945, quando fu liberato dalle truppe sovietiche. La sua conoscenza delle proprietà dei materiali gli permise di tornare a casa e di scrivere quel capolavoro che è *Il sistema periodico*.

Altri tentativi per rendere un elemento moneta corrente si rivelarono meno pragmatici e piuttosto eccentrici. Glenn Seaborg, tutto preso dall'entusiasmo nucleare, avanzò la proposta di utilizzare il plutonio al posto dell'oro come standard monetario internazionale, vista la sua utilità. Forse come presa in giro di questa idea, in un racconto di fantascienza si ipotizzava che le scorie nucleari fossero la moneta ideale per le necessità del capitalismo moderno, visto la velocità con cui avrebbe circolato. È noto che in tempo di crisi la gente ragiona con la pancia e caldeggia l'idea di tornare al sistema aureo (o argenteo), come avveniva fino a qualche decennio fa: gran parte degli Stati nel mondo permettevano di convertire in oro la carta moneta in qualsiasi momento. Qualche critico letterario si è spinto a iporizzare che *Il mago*

di Oz, il libro del 1900 di L. Frank Baum da cui fu tratto il celebre film, non sia altro che un'allegoria dei sistemi aureo e argenteo: Dorothy indossa scarpette d'argento (e non rosse come nel film) e percorre una strada lastricata d'oro che la conduce a una città color verde dollaro.

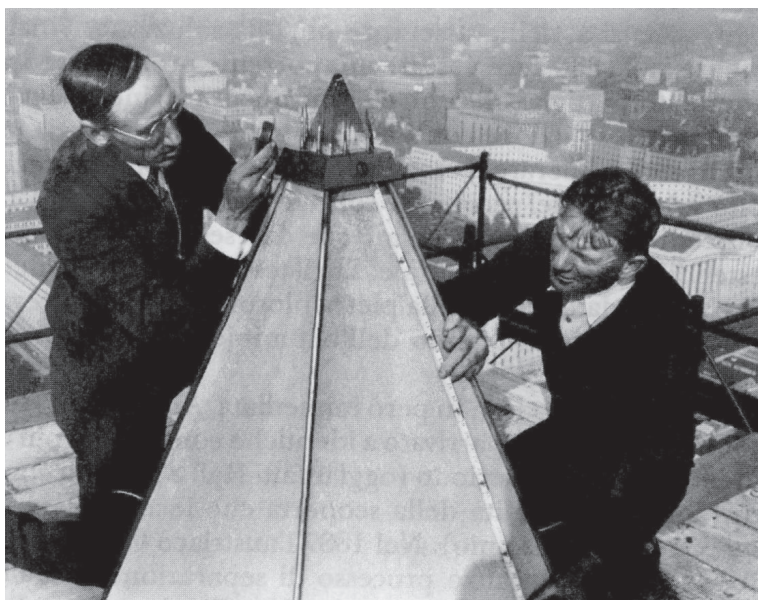
Un'economia fondata sui metalli preziosi può sembrare superata, ma la gente non ha tutti i torti. Benché i metalli siano tutt'altro che facili da convertire rapidamente in denaro liquido senza perdite, essi sono sempre stati una delle più stabili fonti di ricchezza nel lungo periodo. Non deve trattarsi necessariamente di oro o di argento. Se consideriamo il prezzo medio al grammo, il più prezioso tra gli elementi che si possono acquistare oggi sui mercati è il rodio. (Ecco perché nel 1979 il *Guinness dei primati* volle omaggiare Paul McCartney con un disco di rodio in onore del suo primato assoluto di vendite – un disco di platino non sarebbe bastato). Ma nessuno ha fatto tanti soldi, e in così breve tempo, con un elemento della tavola periodica quanto il chimico americano Charles Hall con l'alluminio.

Per tutto il XIX secolo, un buon numero di brillanti scienziati si sono dedicati anima e corpo all'alluminio – e oggi non saprei dire se per la quotazione dell'elemento sia stato un bene o un male. Un chimico danese e un tedesco riuscirono quasi contemporaneamente a isolarlo attorno al 1825, separandolo dall'allume, un astringente ed emostatico noto da lunga data. Poiché si presentava argenteo e scintillante, fu subito classificato come metallo prezioso, nella stessa classe di oro e platino, dunque molto costoso.

Vent'anni dopo un chimico francese inventò un modo per rendere più efficiente la produzione di alluminio, che divenne una merce di scambio disponibile sul mercato. Certo, per chi se lo poteva permettere: era più caro dell'oro. Nonostante si tratti del metallo più diffuso nella crosta terrestre (di cui costituisce circa l'8 per cento in peso, centinaia di milioni di volte più dell'oro), l'alluminio non si presenta mai in forma pura, ma sempre legato a qualche altro elemento, di solito l'ossigeno. Riuscire a ottenere un campione di alluminio puro era considerato un miracolo. I francesi esibivano lingotti di

alluminio degni di Fort Knox a fianco dei loro gioielli della corona, e l'imperatore Napoleone III riservava nei banchetti ufficiali un servizio di posate di alluminio agli ospiti di riguardo (gli altri dovevano accontentarsi di forchette e coltelli d'oro). Nel 1884 il governo americano, per mostrare la potenza industriale della nazione, fece collocare sulla sommità dell'obelisco monumentale dedicato a George Washington una piramide di alluminio pesante tre chili. Secondo i calcoli di uno storico, trenta grammi di quell'alluminio sarebbero bastati a pagare una giornata di lavoro di tutti gli operai che avevano costruito il monumento.

L'alluminio regnò incontrastato per sessant'anni sul trono del metallo più prezioso, fino a quando un chimico americano non lo fece cadere dal suo piedistallo. Le sue proprietà



Tecnici in giacca e cravatta restaurano la piramide di alluminio sulla sommità del monumento a Washington. Il governo americano fece sormontare il monumento da una punta di alluminio nel 1884 come segno di potenza nazionale: l'alluminio era allora il più caro (e prestigioso) metallo al mondo, molto più dell'oro (Bettmann/Corbis).

– leggerezza, resistenza, lucentezza – erano molto allettanti per gli industriali, e la sua onnipresenza nella crosta terrestre prometteva di rivoluzionare l'intero settore metallurgico. L'alluminio era una vera ossessione, ma nessuno era mai riuscito a trovare un modo efficace per separarlo dall'ossigeno. Frank Fanning Jewett, professore di chimica all'Oberlin College, nell'Ohio, raccontava ai suoi studenti che il primo a dominare quell'elemento sarebbe diventato ricco come lo scopritore di un nuovo Eldorado. E almeno uno di loro fu abbastanza ingenuo da crederci e provarci sul serio.

In vecchiaia, il professor Jewett diceva ai suoi vecchi colleghi, pavoneggiandosi, che la sua «più grande scoperta» era stato Charles Hall. Mentre studiava all'Oberlin College, Hall lavorò incessantemente con Jewett sulla separazione dell'alluminio. Inanellò una serie di insuccessi, ma ogni volta si avvicinava sempre più alla soluzione. Finalmente, nel 1886, fece passare una corrente prodotta da accumulatori artigianali (non c'erano ancora le linee elettriche) in una soluzione contenente alluminio, e l'energia fu sufficiente a liberare il metallo, che in pochi minuti precipitò sul fondo del recipiente sotto forma di pagliuzze. Un procedimento economico e facile da eseguire, oltre che estendibile a scala industriale. Era il tesoro più cercato della chimica dall'epoca della pietra filosofale, e Hall l'aveva trovato. Il «piccolo genio dell'alluminio» aveva appena ventitré anni.

La sua fortuna non fu però immediata. Anche Paul Héroult, in Francia, era arrivato a identiche conclusioni più o meno nello stesso periodo (oggi infatti Hall e Héroult condividono la paternità della scoperta che fece crollare il mercato dell'alluminio). Nel 1887 l'austriaco Carl-Joseph Bayer inventò un altro processo di separazione, e Hall, pungolato dalla concorrenza, fondò a Pittsburgh quella che sarebbe diventata la Aluminum Company of America (Alcoa) – una delle imprese più lucrose della storia.

La produzione di alluminio dell'Alcoa crebbe a ritmo esponenziale: da circa 22 chili al giorno nei primi mesi del 1888 a 40 tonnellate nel 1908, appena sufficienti a soddisfare la domanda. I prezzi, ovviamente, crollarono. Grazie

a un avanzamento tecnologico avvenuto prima della nascita di Hall, le quotazioni alla borsa merci di Chicago erano scese da 550 dollari alla libbra a 18. Cinquant'anni dopo, a prezzi correnti, cioè senza tener conto dell'inflazione, l'Alcoa lo vendeva a 25 centesimi la libbra. Un'evoluzione così rapida si è riscontrata, probabilmente, solo in un altro caso nella storia americana: la rivoluzione dei semiconduttori al silicio, ottant'anni più tardi.³ Come i moderni signori del software, Hall diventò spaventosamente ricco. Quando morì nel 1914, aveva un patrimonio personale in azioni Alcoa pari a 30 milioni di dollari (circa 650 di oggi).⁴ Grazie a lui, l'alluminio è diventato il metallo terribilmente comune che tutti conosciamo, presente in mille oggetti, dalle lattine agli aeroplani (se ne sta ancora, un po' anacronistico, anche sulla sommità del monumento a Washington). Stabilire se ciò sia stato un bene, o se stesse meglio nel suo ruolo di metallo prezioso, dipende dai nostri gusti e dal nostro carattere.

ELEMENTI ARTISTICI

⁶⁶ Dy 162.500	⁵⁹ Pr 140.908	³⁸ Sr 87.621	⁴⁴ Ru 101.072	⁸⁸ Ra 226	³ Li 6.941
--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	----------------------------	-----------------------------

Nel corso dei secoli la scienza è diventata un'impresa sempre più complessa e, di conseguenza, costosa. Chi teneva i cordoni della borsa, a un certo punto, decise di stabilire come, quando e se si potessero svolgere determinate ricerche. Già nel 1956 la scrittrice anglo-tedesca Sybille Bedford scriveva: «A suo tempo... ci si poteva interessare piacevolmente alle leggi dell'universo in un laboratorio dietro le scuderie».¹

Certo, nell'età dell'oro tanto vagheggiata da Bedford, XVIII e XIX secolo, ben poca gente, per lo più aristocratici e proprietari terrieri, poteva permettersi un «laboratorio dietro le scuderie» in cui fare ricerche. Non è una coincidenza il fatto che le scoperte viste in questo libro siano quasi tutte opera di uomini benestanti: nessun altro aveva il tempo di ponderare con calma quale fosse la composizione di una certa strana roccia.

Il marchio dell'aristocrazia aleggia sulla tavola periodica e lo si avverte anche senza sapere un'acca di chimica. I figli delle classi agiate in Europa studiavano soprattutto le lingue e le culture classiche, il che si riflette nei vari nomi di elementi (cerio, torio, promezio e altri) che si riferiscono alla mitologia. I termini più buffi, come praseodimio, molibdeno o disprosio, tradiscono tutti la loro origine greca o

latina. Il disprosio, per esempio, deriva dal greco *dysprositos*, che vuol dire «difficile arrivarci»; praseodimio significa «gemello verde» sempre in greco (l'altro gemello, quello «nuovo», si chiama neodimio). I gas nobili sono tutti variazioni greche sul tema: «straniero», «nascosto», «inoperoso», eccetera. I gentiluomini francesi che a fine Ottocento scoprirono nuovi elementi, pur con tutto il loro nazionalismo, si rivolsero a una lingua morta, il latino, e rispolverarono la Gallia (per il gallio, ovviamente) e Lutetia, antico nome di Parigi (per il lutezio), come se dovessero pagare pegno a Giulio Cesare.

Oggi può sembrare strano che uno scienziato studiasse molto più le lingue classiche che, per l'appunto, le scienze; ma per secoli la ricerca fu considerata non tanto una professione quanto un passatempo, non molto diverso dalla filatelia,² anche perché non si usavano complessi modelli matematici e la barriera all'ingresso era abbastanza bassa. Un nobile della statura di Johann Wolfgang von Goethe, per esempio, poteva tranquillamente imporsi nel dibattito scientifico, che fosse qualificato o meno.

Oggi Goethe è ricordato come creatore di opere letterarie che molti giudicano seconde solo a quelle di Shakespeare per ampiezza di temi e forza evocativa. Oltre a scrivere, ai suoi tempi ebbe un ruolo di primo piano in politica e nel dibattito culturale, in quasi ogni campo. Ma sebbene molti lo considerino il più rappresentativo genio tedesco, devo ammettere che il mio primo incontro con lui non fu all'insegna della stima.

Un'estate, quando ero ancora all'università, lavoravo per un certo professore di fisica che era tanto bravo come narratore quanto pasticcione nel tenere in ordine le scorte del laboratorio. Uno dei miei compiti era quindi fare visite periodiche all'ufficio approvvigionamento per implorare che mi dessero un cavo elettrico o cose del genere. Ricordo che era collocato in un magazzino sotterraneo simile a una segreta medioevale, e il capo era un uomo di origine tedesca. In linea con il personaggio, quasi come Quasimodo, il gobbo di Notre-Dame, spesso si presentava al lavoro non rasato e con i capelli lunghi e in disordine. Di corporatura massic-

cia, sarebbe stato un omone imponente se solo avesse avuto qualche centimetro in più del suo metro e sessantacinque. Tremavo ogni volta che dovevo bussare alla sua porta, e non sapevo mai cosa rispondere quando, socchiudendo gli occhi, mi sparava, con un tono che era di rimprovero più che di richiesta di informazioni: «Ha finito i cafi coaziali?».

I miei rapporti con lui migliorarono l'autunno seguente, quando dovetti seguire un corso (obbligatorio) di pratiche sperimentali di cui era uno degli insegnanti. Durante le lunghe ore passate a montare e collegare i dispositivi, nei tempi morti parlavamo del più e del meno, e in un paio di occasioni anche di letteratura. Un giorno mi fece il nome di Goethe, che allora non conoscevo. «È lo Shakespeare di Cermania» mi spiegò. «Tutti questi snob teteschi che lo citano di continuo... Schifo! E poi ti ticono: “Come, non conosce *Goethe*?”».

Aveva letto Goethe nell'originale tedesco e l'aveva trovato così così. Quanto a me, ero ancora abbastanza giovane da farmi impressionare dalle decise opinioni altrui, quindi mi persuasi che non doveva essere quel gran genio che alcuni ritenevano. Qualche anno più tardi, dopo avere letto le sue opere, mi sarei ricreduto sulla sua grandezza di scrittore. Ma devo ammettere che quel tecnico di laboratorio aveva in parte ragione: Goethe era un tuttologo e la sua produzione filosofica e scientifica non vale certo la sua monumentale opera letteraria. Per certi versi aveva l'entusiasmo di un dilettante, e pressappoco le stesse competenze.

Alla fine del XVIII secolo, Goethe propose una teoria dei colori che nelle sue intenzioni avrebbe dovuto superare quella di Newton; purtroppo, però, si appoggiava tanto sulla poesia quanto sulla scienza, e si basava su affermazioni come «i colori sono azione e sofferenza della luce». Non vorrei sembrare un positivista fanatico, ma questa frase non ha alcun senso. Le *Affinità elettive*, poi, sono fondate sulla bislacca idea che i matrimoni funzionino come reazioni chimiche. In breve, se mettete in contatto la coppia AB con la coppia CD, entrambe potrebbero commettere adulterio chimico e formare nuovi legami: $AB + CD \rightarrow AD + BC$. E questa per Goethe non è una semplice metafora, visto che i suoi personaggi discutono

davvero di simili ricombinazioni sentimentali. Il romanzo ha ovviamente ben altri punti di forza (tra cui la descrizione delle passioni), ma della parte «scientifica» si potrebbe fare tranquillamente a meno.

Anche il suo capolavoro, il *Faust*, sostiene ipotesi vecchiotte sull'alchimia; peggio ancora (almeno l'alchimia è divertente), contiene uno sterile dialogo socratico tra «nettunisti» e «plutonisti» sul modo in cui si formano le rocce – un vero mattone. I nettunisti, tra cui Goethe stesso, credevano che nascessero per precipitazione di minerali contenuti nell'oceano, regno del dio Nettuno (e si sbagliavano). I plutonisti invece, così chiamati per via di Plutone, dio degli inferi, credevano (giustamente) che gran parte delle rocce si formasse a causa dei vulcani e del calore nelle profondità terrestri³ – posizione che Goethe, con mossa un po' pedestre, fa sostenere a Satana in persona nel *Faust*. Com'era sua abitudine, il grande poeta tedesco sceglieva la parte del perdente perché la trovava esteticamente più interessante. Oggi *Faust* resta un'opera imprescindibile, una metafora della *hybris* scientifica, come *Frankenstein*, ma Goethe sarebbe rimasto sconvolto nell'apprendere che dopo la sua morte nel 1832 la scienza e la filosofia in cui credeva sarebbero andate in pezzi e che la sua opera si sarebbe letta solo per il suo valore letterario.

L'unico contributo duraturo di Goethe al progresso scientifico, e della chimica in particolare, fu indiretto. Nel 1809, in qualità di ministro, fu incaricato di nominare il nuovo titolare della cattedra di chimica, resasi vacante, all'Università di Jena. Dopo aver ascoltato vari suggerimenti e raccomandazioni, ebbe la felice idea di scegliere un altro Johann Wolfgang, che di cognome faceva Döbereiner. Era un provinciale senza nessun titolo universitario e con un curriculum non dei migliori, visto che si era dedicato alla chimica solo dopo tentativi fallimentari nel campo della farmacia, dell'industria tessile, dell'agricoltura e della produzione di birra. Le sue varie esperienze, però, gli avevano fornito tutte quelle nozioni pratiche che un nobile come Goethe non possedeva, ma riteneva importanti in quell'epoca di grandi progressi industriali. Tra i due nacque un'amicizia, fatta anche di lunghe e feconde discussioni su temi di chimica

allora caldi, come, per esempio, perché il cavolo rosso macchia le posate d'argento o cosa contiene il dentifricio di Madame de Pompadour. Ma la comune passione non poteva cancellare le enormi differenze sociali e culturali tra i due. Goethe, ovviamente, aveva avuto un'ottima istruzione a base di classici e molto altro, tanto che ancora oggi lo si ritiene (con un pizzico di esagerazione) l'ultimo uomo «universale», esponente principe di un'era in cui arti, scienze e filosofia avevano ancora molti elementi comuni. Era inoltre un grande viaggiatore cosmopolita, al contrario di Döbereiner, che all'epoca in cui fu nominato professore non era mai uscito dalla Germania. Il prototipo dello scienziato, allora, era un ricco intellettuale come Goethe, non certo un rozzo campagnolo come l'altro Johann Wolfgang.

Giustizia storica volle che il principale contributo scientifico di Döbereiner fosse dovuto a uno dei pochi elementi, lo stronzio, il cui nome non ha origine greca e non si trova in Ovidio. Tra l'altro, questo fu uno dei primi indizi dell'esistenza della tavola periodica. Lo stronzio fu scoperto nel 1790 da un medico inglese nell'ospedale di un quartiere malfamato di Londra. Lo chiamò così perché era contenuto in un minerale, la stronzianite, a sua volta battezzato in onore della cittadina mineraria scozzese di Strontian. Döbereiner riprese in mano il lavoro dell'inglese vent'anni dopo. Le sue ricerche si erano concentrate fino ad allora sui metodi per pesare gli elementi (un problema pratico, com'era nella sua natura), e affrontare lo stronzio, uno degli ultimi arrivati, costituiva una sfida interessante. Incoraggiato da Goethe, si mise a studiarne le caratteristiche. Man mano che procedeva con il lavoro, si accorse di un fatto strano: il suo peso era esattamente a metà tra quelli del bario e del calcio. Inoltre si comportava chimicamente come questi due elementi, di cui sembrava essere una sorta di miscela.

Stuzzicato da questa scoperta, Döbereiner si mise a pesare gli elementi alla ricerca di ulteriori esempi di quelle che aveva definito «triadi». Presto ne saltarono fuori parecchie: cloro-bromo-iodio, zolfo-selenio-tellurio, e altre ancora. Convinto che non si trattasse di una coincidenza, il chimico tedesco prese a ordinare gli elementi per colonne, in quello che

oggi riconosciamo come un abbozzo di tavola periodica: cinquant'anni più tardi, i primi costruttori della tavola partirono proprio dalle fondamenta di Döbereiner per edificarla.⁴

Il motivo per cui passò mezzo secolo prima della svolta di Mendeleev è che la faccenda delle affinità sfuggì al controllo della scienza. Invece di approfittare dello stronzio e dei suoi vicini per trovare il modo in cui la materia è universalmente organizzata, i chimici dell'epoca (influenzati in parte dalla religione, dal retaggio dell'alchimia e dalla fede pitagorica nella capacità dei numeri di rappresentare metafisicamente la realtà) iniziarono a vedere triadi dappertutto e a sconfinare nella numerologia. Trovavano affinità anche dove non c'erano. Ogni relazione triadica, per quanto tenue fosse il legame, era elevata a uno status quasi sacro. Nonostante tutto però, grazie a Döbereiner, lo stronzio fu il primo elemento a essere inquadrato correttamente all'interno di uno schema più generale di relazioni, e ciò non sarebbe successo senza la fiducia riposta nel chimico tedesco da parte di Goethe.

Döbereiner diede modo al suo protettore di splendere di luce riflessa un'altra volta nel 1823, quando inventò il primo accendino portatile. Funzionava grazie alla strana proprietà del platino di immagazzinare grandi quantità di idrogeno, sostanza altamente infiammabile. In un'epoca in cui per cucinare e scaldarsi era necessario accendere un fuoco, questo aggeggio era una manna dal cielo, nonché fonte di ricchezze. Fu presto noto come «lampada di Döbereiner» e il suo inventore divenne famoso in tutto il mondo, quasi quanto Goethe.

Così, anche se Goethe non ha fatto grandi cose con i suoi lavori scientifici, i suoi scritti hanno contribuito a diffondere l'idea che la scienza fosse un'attività nobile, e il suo patrocinio ha orientato i chimici verso la tavola periodica. Merita dunque un posto nella storia della scienza, se non altro come scienziato onorario (e credo che alla fine lui stesso avrebbe gradito questo titolo). Anche perché, per citare l'illustrissimo Johann Wolfgang von Goethe (mi scuso con il mio vecchio insegnante di laboratorio), «la storia della scienza è la scienza stessa».

Chi tiene in gran conto la componente estetica e di soddisfazione intellettuale nella scienza, come Goethe, in genere ammira le regolarità della tavola periodica e le sue ripetizioni ricche di variazioni come una fuga di Bach. E tuttavia la bellezza della tavola non è solo astrazione. Essa ispira l'arte in tutte le sue forme. L'oro, l'argento e il platino sono di per sé gradevoli da contemplare; altri elementi, come il cadmio e il bismuto, sbocciano sotto forma di pigmenti brillanti nelle vernici minerali o nei colori a olio. Gli elementi hanno un ruolo importante anche nel design e nella produzione di begli oggetti che rendono più piacevole la vita. Grazie a nuove leghe si ottengono a volte significativi miglioramenti in robustezza o elasticità, che trasformano qualcosa di utile in qualcosa di sensazionale. E con un tocco dell'elemento giusto, anche un'umile penna a sfera raggiunge vette di design che, esagerando un po' (ma molti collezionisti di sicuro non la pensano così), la fanno apparire a un'opera d'arte.⁵

Alla fine degli anni Venti, lo straordinario artista e designer ungherese (naturalizzato americano) László Moholy-Nagy distinse teoricamente tra «obsolescenza inevitabile» e «obsolescenza pianificata». L'obsolescenza inevitabile è il corso normale delle cose nell'universo tecnologico, ed è materia dei libri di storia: l'aratro trainato dai buoi cede il posto al trattore, il moschetto al fucile a retrocarica, le barche di legno alle navi di acciaio. Per contrasto, l'obsolescenza pianificata è un fenomeno recente, e Moholy-Nagy prevedeva che avrebbe dominato sempre più il XX secolo. Secondo questa modalità gli oggetti cadono in disuso non perché sono superati dal progresso tecnico, ma da altri oggetti percepiti come più belli e alla moda. Moholy-Nagy – artista ma anche filosofo dell'estetica industriale – condannava l'obsolescenza pianificata come infantile e materialista, una vera e propria «disintegrazione morale». E, ci crediate o meno, l'umile penna fu un tempo un oggetto del desiderio, un esempio dell'avidità ingorda dei consumatori per qualcosa – non importa quale – di avanzato e soprattutto di nuovo.

La carriera della penna magica – simile all'anello di Frodo, lo hobbit di Tolkien – iniziò nel 1923 grazie a un giovane

uomo. Kenneth Parker, allora ventottenne, convinse il consiglio di amministrazione dell'azienda di famiglia a investire massicciamente i capitali della ditta su un nuovo prototipo, la lussuosa penna Duofold. (Astutamente, aveva aspettato che suo padre, il grande capo Parker senior, partisse per un lungo viaggio per mare verso le coste dell'Africa e dell'Asia, per non rischiare di incappare nel suo veto). Dieci anni più tardi, nel periodo più cupo della depressione, fece un'altra scommessa rischiosa lanciando sul mercato un altro modello di fascia alta, la Vacumatic. E poco dopo, diventato lui il padrone, volle creare qualcosa di veramente nuovo. Conosceva bene le teorie di Moholy-Nagy sul design, ma invece di cruciarsi per l'immoralità dell'obsolescenza pianificata, Parker la vide in un'ottica molto americana, come l'occasione per fare un sacco di soldi. Se avesse offerto ai clienti un modello più sofisticato, l'avrebbero comprato anche senza averne bisogno. Animato da questi sani principi, nel 1941 mise sul mercato quella che viene generalmente considerata la più perfetta penna della storia, la meravigliosa e decisamente superflua Parker 51 – così battezzata perché arrivò nei negozi quando la Parker Pen Company compiva appunto cinquantun anni.

Era l'eleganza personificata. Il cappuccio poteva essere placcato oro o cromo; la clip era dorata e a forma di freccia. Il corpo era grassottello e invitante, come un sigaro, e si presentava in colori fantastici, con nomi come «blu cedro», «verde Nassau», «cacao», «prugna», «rosso furia». Sulla punta, colorata in «nero India» e simile alla luccicante testa di una tartaruga, si innestava un pennino elegante, da calligrafia, che terminava con una pallina d'oro: una linguetta arrotondata che dispensava inchiostro. Il materiale del corpo era una plastica di nuova concezione, la lucite. Ugualmente nuovi erano il meccanismo che regolava il flusso dell'inchiostro e l'inchiostro stesso. Per la prima volta nella storia della scrittura, i segni tracciati non si asciugavano per evaporazione, dopo qualche secondo di posa sulla carta, ma penetravano nelle fibre della carta stessa e si asciugavano all'istante per assorbimento. Anche il modo in cui il cappuccio si incastrava nella penna era



Secondo molti collezionisti, la Parker 51 è la penna migliore di tutti i tempi, oltre a essere un capolavoro di design in generale. La punta conteneva il rutenio, elemento raro e durevole (Jim Marmoulides, www.PenHero.com).

protetto da ben due brevetti. I progettisti della Parker erano geni dell'arte scrittoria.

L'unico neo in tanta bellezza era la punta del pennino, che entrava a diretto contatto con la carta. L'oro è un metallo malleabile e si deforma sotto la costante pressione della mano che scrive. Nel primo modello la punta era protetta da un anello di osmiridio, lega di osmio e iridio, due metalli resistenti ma rari in natura, costosi e difficili da importare: sarebbe bastata una fluttuazione di prezzo o un'interruzione nell'approvvigionamento per rovinare tutto. Parker incaricò allora un esperto di metallurgia della Yale University di trovare un materiale sostitutivo. Nel giro di un anno, l'azienda brevettò una lega al rutenio, elemento fino ad allora considerato praticamente inutile, che però rendeva la punta una signora punta, degna delle altre parti. Il rutenio entrò nella composizione della Parker 51 a partire dal 1944.⁶

Ora, diciamocelo: pur avendo un design assai migliore, questa penna assolveva un compito di cui erano capaci tanti

altri modelli, e cioè trasferire dell'inchiostro su un pezzo di carta. Ma come aveva giustamente profetizzato Moholy-Nagy, più del bisogno poté la moda. Grazie alla pubblicità l'azienda attirò parecchi clienti, convincendoli che con il nuovo prodotto l'atto dello scrivere avesse raggiunto l'apoteosi. Molti buttarono via i vecchi modelli della Parker e si comprarono quello all'ultimo grido. La 51 – «la penna più ricercata del mondo» – divenne uno status symbol, l'unico oggetto con cui banchieri, agenti di cambio e politici di alto livello firmavano assegni, conti del bar e schede segna-punti del golf. Nel 1945 Eisenhower e MacArthur usarono le loro rispettive 51 per firmare gli armistizi che misero fine alle ostilità della seconda guerra mondiale in Europa e nel Pacifico. Con tanta pubblicità, e grazie al clima di ottimismo generale che prevalse un po' in tutto il mondo dopo la guerra, le vendite passarono da 440 000 pezzi nel 1944 a 2,1 milioni nel 1947 – un successo straordinario se pensiamo che costava da 12,50 a 50 dollari (da 100 a 400 dollari di oggi); inoltre, il pennino indistruttibile e la possibilità di ricaricare l'inchiostro la rendevano un oggetto praticamente eterno.

Lo stesso Moholy-Nagy, pur turbato dal fatto che le sue teorie fossero state tradotte senza troppi problemi in azioni di marketing, si fece sedurre dalla 51, dal suo equilibrio, dalle linee, dal flusso setoso di inchiostro, tanto da dichiararla «un perfetto oggetto di design». Nel 1944 gli fu addirittura affidata una consulenza dalla Parker stessa, il che diede origine alla diceria che fosse stato lui il vero progettista. La 51 fu in commercio in vari modelli fino al 1972; pur costando il doppio della concorrenza, fu di sicuro la penna più venduta del tempo, con un fatturato complessivo di 400 milioni di dollari (qualche miliardo a prezzi attuali).

Poco dopo, il mercato delle penne di alta gamma iniziò a contrarsi per un ovvio motivo. La 51 faceva sembrare gli altri modelli tecnologicamente inferiori, ma in generale fu la penna in sé a diventare obsoleta naturalmente, a causa di oggetti come la macchina da scrivere. A questo proposito c'è da raccontare una storia, che inizia con Mark Twain e si insinua nei meandri della tavola periodica.

Dopo aver assistito a una dimostrazione pubblica nel 1874, e pur nel pieno di una recessione globale, Mark Twain acquistò d'impulso una macchina da scrivere per la folle cifra di 125 dollari (pari a 2400 ai prezzi di oggi). Nel giro di una settimana stava già comunicando a tutti che non vedeva l'ora di sbarazzarsene: «MI FA IMPAZZIRE» scriveva (quel modello aveva solo le maiuscole). E difficile dire quanto ciò fosse attribuibile ai difetti della macchina e quanto al carattere brontolone di Twain, che spesso tendeva a esagerare. Comunque sia, l'anno seguente lasciò perdere la macchina da scrivere e si convertì alle nuove penne stilografiche. La sua passione per le penne costose non si placò nemmeno quando si accorse che per farle funzionare ci voleva «una buona dose di imprecazioni». Di certo non erano Parker 51.

Alla fine, però, Twain contribuì più di chiunque altro al trionfo della macchina sulla penna di alta gamma. La prima opera letteraria consegnata a un editore sotto forma di dattiloscritto (naturalmente dettato a una segretaria) furono i suoi *Racconti del Mississippi* nel 1883. E quando la Remington, azienda produttrice della sua macchina, gli chiese di fare pubblicità al prodotto (che nel frattempo Twain aveva ricomprato a malincuore), scrisse un secco biglietto di rifiuto che fu comunque reso pubblico.⁷ In fin dei conti, il fatto che Mark Twain, allora la persona più famosa d'America, ammettesse di possedere una macchina da scrivere era una pubblicità sufficiente per la Remington.

Questo suo amore per le penne (che lo facevano comunque imprecare) contrapposto all'odio per la macchina da scrivere è una tipica contraddizione del personaggio. Anche se agli antipodi di Goethe dal punto di vista letterario, il popolare e democratico Twain condivideva con lo scrittore tedesco un'ambivalenza di fondo sul ruolo del progresso tecnologico. Non aveva nessuna pretesa di fare lo scienziato in prima persona, ma era comunque affascinato dalla ricerca; al tempo stesso, come Goethe, non era convinto che *Homo sapiens* fosse in grado di utilizzare saggiamente la tecnologia a sua disposizione. Lo scrittore tedesco esplicitò le sue paure nel *Faust*, Twain in un racconto che oggi classificheremmo come

fantascienza. Davvero, quell'uomo scrisse di tutto: oltre alle famose ragazzate sul pigro corso del fiume, la sua produzione spazia su temi come la tecnica, le invenzioni, il futuro distopico, i viaggi nel tempo e nello spazio e persino, nel divertente racconto *Sold to Satan* («Venduto al diavolo»), i pericoli della tavola periodica.

È una storia breve, ambientata negli anni immediatamente successivi a una crisi economica dovuta al crollo del prezzo dell'acciaio, che si suppone avvenuto nel 1904. Il narratore, stanco di arrabattarsi per guadagnare due lire, decide di vendere la sua anima immortale a Mefistofele. Per siglare il patto, si incontra con Satana in un covo ignoto e oscuro a mezzanotte; i due bevono un goccetto insieme e discutono della deprimente corsa al ribasso anche nei prezzi delle anime. Ben presto, però, il discorso si concentra su un bizzarro particolare anatomico: Satana è fatto interamente di radio.

Sei anni prima, Marie Curie aveva sbalordito la scienza con le sue scoperte sugli elementi radioattivi. Erano notizie abbastanza diffuse, ma Mark Twain in questo racconto dà prova di essere molto addentro al mondo della ricerca, per via di certi dettagli che usa a fini umoristici. Il radio carica elettricamente l'aria che lo circonda, così Satana emette una luminescenza verde che il narratore sembra apprezzare. Inoltre questo elemento ha sempre temperatura maggiore dell'ambiente circostante, come un minerale a sangue caldo, perché è «acceso» dalla radioattività. Il calore aumenta in modo esponenziale all'accrescere della massa. Ne risulta che Satana, alto un metro e ottantacinque e pesante «sui quattrocento chili», è così rovente da accendersi un sigaro con la punta delle dita. (Lo spegne subito, però, perché vuole «serbarlo per Voltaire», al che il narratore gli offre altri cinquanta sigari da regalare a vari personaggi, tra cui Goethe).

La storia tocca anche alcuni aspetti relativi alla lavorazione dei metalli radioattivi. Non sono pagine memorabili nella produzione di Mark Twain, ma come la migliore fantascienza a volte sono profetiche. Per non ridurre in cenere la gente al suo passaggio, Satana indossa un'armatura di polonio, altro nuovo elemento scoperto da Marie Curie,

«trasparente come un velo di gelatina». Dal punto di vista scientifico è una stupidaggine, perché con una pellicola trasparente di polonio non si riesce certo a contenere una massa critica di radio. Ma possiamo perdonarla all'autore, perché serve ai fini narrativi e dà la possibilità a Satana di tenere in pugno l'umanità: «Se mi liberassi di questa seconda pelle il mondo andrebbe in fumo con una gran fiammata, e i resti della spenta luna vagherebbero nello spazio tra ceneri grigia sparsa come neve sporca».

Uno come Mark Twain non poteva certo farla passar liscia al diavolo. Il calore del radio intrappolato dallo strato di polonio è così intenso che Satana confessa, con involontario umorismo: «Brucio, soffro dentro». Già nel 1904 l'autore intuiva i pericoli dell'energia nucleare. Se fosse vissuto altri quarant'anni avrebbe scosso la testa, sconsolato ma con l'aria di chi la sapeva lunga, di fronte all'uso militare e non pacifico di quella fonte di energia. Contrariamente alle divagazioni scientifiche di Goethe, certi racconti di Mark Twain hanno ancora oggi qualcosa da insegnarci.

Mark Twain osservava con un certo timore le righe inferiori della tavola periodica. Ma tra tutte le storie che coinvolgono artisti e chimica, la più triste e cruda, o se vogliamo faustiana, mi sembra quella del poeta Robert Lowell e delle sue avventure con uno degli elementi in cima alla tavola, il litio.

Nella prestigiosa scuola privata che frequentava da ragazzo, agli inizi degli anni Trenta, i compagni lo avevano soprannominato «Cal», da Calibano, il mostro urlante della *Tempesta* shakespeariana. Altri giurano che fosse il diminutivo di Caligola, ma in ogni caso era un nomignolo appropriato per il fondatore della «poesia confessionale», il perfetto esempio di artista pazzo: un Poe o un van Gogh, un individuo la cui genialità trae linfa da zone della mente a cui quasi nessuno ha accesso, tantomeno per trovare l'ispirazione artistica. Purtroppo Lowell non riuscì a confinare la follia dentro i versi poetici, ma la fece irrompere nella sua vita. Un giorno si presentò alla porta di un amico e gli disse bofonchiando di essere la Vergine Maria. Un'altra volta a Bloomington, in

Indiana, si convinse di avere il potere di fermare le macchine sull'autostrada allargando le braccia come Cristo in croce. Nei suoi corsi universitari perdeva ore a blaterare cose senza senso e a riscrivere i temi degli sbalorditi allievi nello stile antiquato di Tennyson o Milton. A diciannove anni, dopo aver lasciato la fidanzata, scappò in macchina da Boston diretto alla casa di campagna di un poeta del Tennessee che sperava gli facesse da maestro. Convinto che l'uomo l'avrebbe ospitato, si presentò alla porta. Quando il padrone di casa gli fece gentilmente notare che non aveva posto e, a mo' di battuta, lo invitò ad accamparsi in giardino, Lowell senza fare una piega andò a comprarsi una tenda in un grande magazzino e ritornò per montarla sull'erba.

Al pubblico queste storie piacevano molto. Negli anni Cinquanta e Sessanta Lowell fu il più famoso poeta americano, coperto di onori e premiato dalle vendite di libri. Tutti davano per scontato che le sue stranezze fossero il segno della follia divina, dono delle Muse. Invece a sentire gli esperti di neurofarmacologia, disciplina allora nascente, le cose stavano in tutt'altro modo. «Cal» soffriva di uno squilibrio di tipo chimico che lo rendeva bipolare. Il pubblico vedeva solo gli aspetti esagerati del suo carattere, non i periodi neri che lo rendevano incapace di fare alcunché e lo distruggevano nel morale (e nelle finanze). Per sua fortuna, nel 1967 fu messo in commercio in America il primo vero stabilizzatore dell'umore: il litio, per l'appunto. Il povero Lowell, che era stato appena ricoverato in manicomio, dove veniva tenuto senza cintura e lacci delle scarpe, accettò di provare la cura.

Pur essendo un potente farmaco, il litio stranamente non ha alcuna funzione biologica in condizioni normali. Non è un minerale essenziale come il ferro o il magnesio, né è un oligonutriente come il cromo. In effetti il litio allo stato puro è pericoloso, per quanto è reattivo. È accaduto che la carta o i frammenti di tessuto contenuti in una tasca prendessero fuoco perché una moneta o una chiave aveva fatto cortocircuitare una batteria al litio. Dal punto di vista farmacologico, questo elemento (o meglio il sale che viene somministrato, il carbonato di litio) non agisce nel modo consueto. Quando

prendiamo gli antibiotici abbiamo una infezione in corso e vogliamo in questo modo uccidere i batteri. Invece assumere del litio durante una crisi di iperattività o nei meandri della depressione più nera non serve a far passare i sintomi, ma a impedire che il problema si ripresenti in futuro. Questo effetto era noto fin dal 1886, ma solo di recente si è scoperto qual è il meccanismo per cui agisce.

Il litio inganna, con complesse modalità, varie sostanze presenti nel cervello e legate all'umore. La sua proprietà più interessante è il potere di rimettere a posto i ritmi circadiani, cioè l'orologio interno del nostro corpo. Nei soggetti normali, le condizioni ambientali, e soprattutto la posizione del sole, influenzano l'umore e determinano quando è il momento di spegnersi. Il ciclo dura ventiquattr'ore. Invece i soggetti bipolari hanno cicli tutti loro, indipendenti dal giorno e dalla notte e sempre attivi. Quando sono in una fase di picco, hanno il cervello talmente pieno di neurostimolatori che l'assenza di luce solare non basta a spegnere l'interruttore. C'è chi parla di «entusiasmo patologico»: in quella fase non hanno quasi bisogno di dormire e sono talmente sicuri dei propri mezzi da convincere un agiato bostoniano come Lowell di essere stato prescelto dallo Spirito Santo come madre del figlio di Dio. Questi picchi, però, svuotano la mente e alla fine avviene il tracollo. Nei casi di bipolarismo più gravi, chi è preda dell'umor nero rimane a letto per intere settimane.

Il litio regola le proteine che controllano l'orologio interno dell'organismo, il quale, stranamente, funziona grazie al DNA di alcune speciali cellule nervose. Ogni mattina queste proteine si attaccano al DNA e dopo un tempo fissato si degradano e si staccano. Ciò accade solo con il buio, perché la luce solare ha il potere di tenerle in vita più a lungo. Il cervello si accorge in qualche modo che la proteina non c'è più e smette di produrre sostanze stimolanti. Questo meccanismo si inceppa negli individui bipolari. Nel loro caso, le proteine rimangono sempre ben attaccate al DNA, che ci sia o meno il sole, dunque il cervello non riceve l'ordine di rallentare. Il litio si inserisce in questo punto, facendo cadere le proteine e permettendo all'organismo di

darsi una calmata. Osserviamo che durante il giorno la luce solare ha molto più effetto del litio, che è utile solo di notte. Lunghi dall'essere la «pillola del sole», i sali di litio agiscono proprio come «antisolari»: riproducono gli effetti neurologici dell'assenza di luce e fanno ritornare il ciclo circadiano nel solco delle ventiquattr'ore, impedendo quindi il ritorno dei picchi di iperattività e dei momenti di umor nero.

La cura ebbe effetto immediato su Lowell. La sua vita divenne più tranquilla di prima (anche se sempre piuttosto movimentata) e a un certo punto pensò di essere guarito del tutto. Dal suo nuovo e stabile punto di vista, ripensava alle vecchie mattane (risse, ubriacature, pasticci sentimentali) e al male che aveva fatto a tanta gente. Nonostante i versi commoventi e sinceri abbondino nella sua produzione, credo che nulla possa stare alla pari del semplice biglietto di scuse che Lowell scrisse al suo editore dopo l'inizio della cura: «Bob, è spaventoso pensare che le mie sofferenze e quelle che ho provocato siano state causate dalla mancanza di un pizzico di un certo sale nel cervello». Un commovente richiamo alla delicata e fragile chimica umana.

La vita quotidiana di Lowell era migliorata grazie al litio, ma gli effetti sulla sua produzione poetica furono meno chiari. Come molti altri artisti, ebbe la sensazione che esser passato dai folli cicli bipolari a un banale ritmo circadiano gli permettesse di lavorare con maggior profitto, senza esser distratto dalla mania o abbattuto dalla depressione. Ma c'è chi pensa che la «cura» vada a discapito della qualità del lavoro, una volta perso l'accesso a quelle parti della psiche di cui la maggioranza di noi neanche sospetta l'esistenza.

Molti artisti lamentano che il litio li fa sentire appiattiti, come sotto sedativi. Un amico di Lowell disse che dopo la cura era come un bambino portato in gita allo zoo. E non c'è dubbio che la sua produzione poetica cambiò dopo il 1967, diventando più aggressiva e volutamente meno raffinata. Al posto di scrivere frasi scaturite dalla sua folle immaginazione, si mise a rubarle dalle lettere che riceveva, facendo infuriare i mittenti. Nonostante le sue opere più tarde gli abbiano garantito il Pulitzer nel 1974, non hanno

retto bene al giudizio del tempo, soprattutto se confrontate con la scoppiettante produzione pre-litio, ancora oggi letta e apprezzata. Se gli elementi della tavola periodica hanno ispirato Goethe, Mark Twain e altri ancora, forse nel caso di Lowell uno di loro ha portato la salute ma ha messo la sordina all'arte, e ha trasformato un genio in un essere umano.

15
UN ELEMENTO DI FOLLIA

³⁴ Se 78.963	²⁵ Mn 54.938	⁴⁶ Pd 106.421	⁵⁶ Ba 137.327	¹¹¹ Rg (280)
-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

Robert Lowell era il classico esempio di artista folle, ma c'è un altro tipo di deviante che è ben rappresentato nella coscienza collettiva: lo scienziato pazzo. I matti della tavola periodica non davano spettacolo di sé in pubblico come gli artisti e in genere non avevano vite private scandalose. La loro instabilità era meno manifesta e i loro errori tipici di quella particolare forma di follia nota come «scienza patologica».¹ È affascinante vedere come nella stessa mente la malattia possa andare a braccetto con il genio.

Contrariamente a quasi tutti gli scienziati di cui si parla in questo libro, William Crookes, figlio di un sarto, nato nel 1832, non lavorò mai in una università. Primo di sedici figli, ne ebbe lui stesso una decina; riuscì a mantenere quella numerosissima famiglia scrivendo un libro di successo sui diamanti e curando come caporedattore un popolare e salottiero periodico dedicato alle avventure della scienza, le «Chemical News». Indipendentemente da ciò, Crookes (occhialuto signore con tanto di barba e baffi a manubrio) fece ricerche di assoluto valore su parecchi elementi, come selenio e tallio, che gli valsero l'onore di essere ammesso a soli trentun anni alla Royal Society, il più esclusivo club scientifico inglese. Dieci anni dopo rischiò di esserne espulso.

I guai cominciarono nel 1867, quando suo fratello Philip scomparve in mare.² Nonostante la famiglia fosse così numerosa, o forse proprio per quello, i Crookes quasi impazzirono di dolore. A quell'epoca lo spiritismo, una moda importata dall'America, si era diffuso in tutta l'Inghilterra, facendo adepti sia nell'aristocrazia sia tra la classe media. Anche Sir Arthur Conan Doyle, inventore di quel campione di razionalità di Sherlock Holmes, trovò posto nel suo capace intelletto per accettare la realtà degli spiriti. Puri prodotti della loro epoca, i Crookes – per lo più commercianti privi di istruzione o attitudine scientifica – iniziarono a partecipare in massa alle sedute spiritiche, nella speranza di fare due chiacchiere con il povero Philip.

Non si sa come, ma una sera William volle assistere a una seduta. Forse per solidarietà familiare, forse perché uno dei suoi fratelli quella sera faceva da assistente al medium, forse perché sperava di convincerli a smetterla. Al suo diario privato aveva confidato di ritenere il «contatto» medianico come una pura messa in scena, una truffa. Eppure la vista del medium che suonava la fisarmonica senza mani e componeva «messaggi automatici» con una lancetta mobile su una sorta di tavoletta ebbe un forte effetto su di lui, contro ogni previsione. La sua già indebolita corazza di scetticismo si sciolse quando il medium cominciò a blaterare frasi che sosteneva provenissero da Philip, perso nell'aldilà: William scoppiò a piangere. Prese a frequentare le sedute e inventò addirittura uno strumento scientifico, il «radiometro», per misurare i mormorii degli spiriti vaganti nel buio della stanza. Non sappiamo se quel marchingegno – un'ampolla a vuoto nella quale era inserita una specie di banderuola molto sensibile – abbia davvero rilevato la presenza di Philip (tutte le ipotesi sono permesse...). Ma William non poteva ignorare le sensazioni provate tenendo per mano i membri della sua famiglia in queste riunioni. Presto divenne un habitué.

Queste sue simpatie ne facevano una pecora nera tra i razionalisti della Royal Society. Consapevole del problema, Crookes fece di tutto per dissimularle. Nel 1870 annunciò che aveva effettuato uno studio scientifico dello spiritismo. I colleghi già pregustavano la demolizione di quella monta-

tura spiritica sulla sua rivista scandalistica, ma si sbagliavano. Dopo quattro anni di cantilene e invocazioni, Crookes pubblicò nel 1874 le *Notes of an Enquiry into the Phenomena Called Spiritual* («Note relative a un'inchiesta sul fenomeno detto spiritismo») su un periodico di cui era proprietario, il «Quarterly Journal of Science». Paragonandosi a un esploratore di mondi esotici, un Marco Polo del paranormale, l'autore passava in rassegna le manifestazioni spiritiche («levitazione», «fantasmi», «percussioni», «apparizioni luminescenti», «sospensione di tavoli e sedie a mezz'aria») e non le liquidava come prodotto di trucchi da ciarlatani o ipnosi collettiva: non tutto quello di cui era stato testimone, diceva, aveva una chiara spiegazione. Non era certo un'adesione acritica, ma Crookes affermava quanto meno di aver trovato «tracce residue» di vere forze soprannaturali.³

Venendo da cotanto luminare, questo seppur tiepido avallo scioccò tutti quanti in Inghilterra, compresi i seguaci dello spiritismo. Riavutisi dalla sorpresa, questi ultimi cominciarono a osannare William Crookes, loro novello Messia. Ancora al giorno d'oggi, qualche acchiappafantasmi tira fuori questo traballante articolo come «prova» del fatto che anche le persone razionali possono accettare lo spiritismo se vi si accostano con mente aperta. Alla Royal Society, i colleghi di Crookes furono anch'essi sorpresi, ma molto meno contenti. Per loro egli si era fatto raggirare dai trucchi di qualche ciarlatano, invischiare nella dinamica del gruppo e sedurre da qualche figura carismatica. L'insidiosa vernice di scientificità con cui aveva rivestito il suo articolo fu attaccata con veemenza. I dati da lui raccolti erano irrilevanti: perché, ad esempio, registrare temperatura e pressione nella stanza del medium? credeva forse che gli spiriti non si sarebbero fatti vedere con il brutto tempo? Il lato per lui più spiacevole della faccenda furono gli attacchi personali da parte di vecchi amici, che lo accusarono di essere un sempliciotto o un truffatore. Se ancora oggi i seguaci dello spiritismo citano talvolta Crookes, alcuni scienziati non gli perdonano di aver avallato centotrentacinque anni di cavolate new age. E come prova del suo impazzimento citano addirittura i suoi lavori sugli elementi.

In effetti in gioventù Crookes era stato uno dei primi a stu-

diare il selenio. È un oligonutriente essenziale per gli animali (nell'uomo, ad esempio, la carenza di selenio nel sangue di un paziente di AIDS è un segnale tragicamente preciso della prossima fine), ma ad alti dosaggi è tossico. Lo sanno bene i proprietari dei ranch. Se non vengono tenute d'occhio, le bestie fanno piazza pulita di *locoweed* («erba matta»), come viene comunemente chiamata una pianta della famiglia delle Fabiacee, di cui certe varietà, come *Astragalus bisulcatus*, assorbono il selenio contenuto nel suolo. I bovini che ruminano queste piante ben presto iniziano a barcollare e a presentare febbre, ulcere e anoressia – una vera e propria sindrome detta «locoismo». È come una tossicodipendenza, alle bestie piace moltissimo: nonostante la spiacevolezza dei sintomi, continuano a mangiare le piante preferendole a tutte le altre. Un vero e proprio sbalzo erbivoro, dimostrazione del fatto che il selenio fa impazzire. Gli storici più creativi sono arrivati a sostenere che la sconfitta di Custer a Little Bighorn fu dovuta al fatto che i cavalli del suo esercito si fossero fatti di *locoweed* prima della battaglia. Il nome del selenio si rivela molto appropriato, perché viene dal greco antico *selene*, cioè «luna», da cui «lunatico».

Visti i suoi effetti, si potrebbe col senno di poi dare la colpa della momentanea follia di Crookes a questo elemento. Ma è una diagnosi smentita dai fatti. L'intossicazione da selenio in genere si manifesta nel giro di una settimana, mentre le stranezze del chimico inglese iniziarono molti anni dopo che aveva smesso di averci a che fare. Inoltre, dopo che a lungo gli allevatori hanno maledetto l'elemento numero 34 ogni volta che una mucca cominciava a barcollare, oggi molti specialisti sospettano che la vertigine bovina e l'intossicazione siano dovute non solo al selenio ma a molte altre sostanze presenti nel *locoweed*. Infine, la prova più convincente è data dalla barba di Crookes, che sarebbe dovuta sparire a causa della selenosi.

La barba intatta smentisce anche l'ipotesi, avanzata da alcuni, che a renderlo folle sia stata un'intossicazione da tallio, altro elemento che ha tra i suoi effetti la caduta dei peli. Il tallio, che abbiamo già incontrato nel capitolo 9 come «veleno degli avvelenatori», fu scoperto proprio da Crookes a soli ven-

tisei anni – un'impresa che contribuì ad aprirgli le porte della Royal Society. Ci lavorò in laboratorio per almeno un decennio, ma pare che non ne abbia inalato abbastanza da perdere i suoi bei basettoni. E poi, un individuo avvelenato dal tallio (o dal selenio) avrebbe avuto una mente così acuta anche in tarda età? Difatti, dopo il 1874 Crookes prese le distanze dai circoli spiritici e tornò a dedicarsi solo alla scienza. Le maggiori scoperte dovevano ancora venire. Fu il primo a ipotizzare l'esistenza degli isotopi e progettò importanti strumenti con cui confermò per la prima volta la presenza di elio in alcune rocce terrestri. Nel 1897 il fresco di nomina Sir William si buttò nel campo della radioattività e tre anni dopo scoprì (pur senza rendersene conto) il protoattinio.

No, la spiegazione più plausibile riguardo ai passi falsi di Crookes è di ordine psicologico: distrutto dal dolore per la perdita del fratello, fu vittima *ante litteram* di quella che è stata definita «scienza patologica».

Per spiegare cosa sia la scienza patologica, è bene liberare il campo da alcune idee errate riguardo a questa parola, «patologica», così carica di significati, e dire subito quello che la scienza patologica *non* è. Non è una truffa, perché i suoi seguaci credono sinceramente di essere nel giusto – sono gli altri a complottare contro di loro. Non è una pseudoscienza come il marxismo o il freudismo, che si ammantano di autorevolezza ma rifuggono il rigore del metodo scientifico. Non è scienza politicizzata come il lisenkismo, dove gli scienziati professano fedeltà a una falsa scienza sotto la minaccia o l'influenza di un'ideologia. Infine, non è follia in senso clinico generale, né una credenza semplicemente aberrante. È una follia specifica, una illusione meticolosa e scientificamente informata. Gli scienziati patologici si appuntano su un fenomeno marginale e improbabile che li attira per una ragione o per l'altra e usano tutto il loro acume scientifico per dimostrarne l'esistenza. Ma il gioco è truccato in partenza: la loro scienza è solo in funzione del bisogno emozionale più profondo di credere in qualcosa. Lo spiritismo di per sé non è una scienza patologica, ma lo diventò nelle mani di Crookes per via dei

suoi minuziosi «esperimenti» e di tutto il cerimoniale scientifico in cui li avvolgeva.

E, in effetti, non sempre la scienza patologica nasce da campi marginali, perché in alcuni casi può prosperare ugualmente in discipline legittime ma speculative, dove i dati a disposizione sono scarsi e difficili da interpretare. Per esempio, la branca della paleontologia che si occupa della ricostruzione di dinosauri e altre creature estinte fornisce un altro celebre esempio di scienza patologica.

In assoluto, come è ovvio, sappiamo ben poco sulle specie scomparse. Trovare uno scheletro intero è rarissimo, per non parlare delle tracce dei tessuti molli. Tra gli specialisti del settore circola questa storiella: se gli elefanti si fossero estinti molto tempo fa, e dunque oggi non avessimo un modello a cui ispirarci, probabilmente avremmo ricostruito il mammut sotto forma di colossale criceto con le zanne. Non abbiamo idea di come fossero fatti ornamenti e caratteristiche importanti, come strisce, andature, labbra, pance, ombelichi, musi, bargigli, ruminanti, gobbe, sopracciglia, natiche, unghie, guance, lingue e capezzoli. Ciò nonostante, confrontando minuti segni sulle ossa fossili con quelli presenti negli animali moderni, un occhio esperto è in grado di avanzare ipotesi plausibili sulla muscolatura, il sistema nervoso, le dimensioni, l'andatura, la dentizione e persino le abitudini riproduttive delle specie estinte. I paleontologi devono solo fare attenzione a non esagerare con le estrapolazioni.

La scienza patologica trae profitto dalla cautela altrui. I suoi adepti utilizzano il carattere ambiguo delle prove *come prova*, per dimostrare che gli specialisti non sanno ancora tutto – e che dunque c'è posto anche per la loro piccola teoria personale. È successo, per esempio, con la storia del manganese e del megalodonte.⁴

Tutto inizia nel 1873, quando la spedizione scientifica a bordo del *Challenger* salpò dall'Inghilterra alla volta dell'oceano Pacifico. Le ricerche erano allora eroicamente effettuate con strumenti a bassa tecnologia: per dragare il fondo oceanico si calavano in acqua grandi secchi legati a funi lunghe fino a cinque chilometri. Oltre a vari pesci mai visti e

altre creature favolose, si portarono alla luce un gran numero di sassi sferici e conici, simili rispettivamente a patate e grossi coni gelato fossilizzati. Questi oggetti erano costituiti in gran parte da manganese e si trovavano un po' dappertutto, il che significava che dovevano essercene a miliardi sul fondo degli oceani.

Questa era solo la prima delle sorprese. La seconda era nascosta dentro i coni: aprendoli si scoprì che il manganese si era depositato attorno a denti di antichi squali giganteschi. Quelli delle specie più grandi oggi esistenti, veri fenomeni da baraccone nel regno animale, sono lunghi al massimo sei centimetri e mezzo. I denti ricoperti di manganese raggiungevano e talvolta superavano i dodici. Erano armi mostruose, asce capaci di frantumare ossa senza fatica. I paleontologi si misero al lavoro e con le stesse tecniche di base impiegate per i dinosauri fossili stabilirono (a partire dai soli denti) che questo mostro spielberghiano, battezzato megalodonte (*Carcharodon megalodon*), era lungo circa quindici metri, pesava una cinquantina di tonnellate e solcava i mari a ottanta all'ora. La bocca conteneva duecentocinquanta denti e si chiudeva esercitando una pressione di più di cento tonnellate. Viveva in acque tropicali poco profonde, e si nutriva soprattutto di balene primitive. E probabile che la causa della sua estinzione sia stato il cambiamento di abitudini delle prede, che si spostarono verso mari più profondi e freddi, ambiente che non si confaceva al metabolismo di questo insaziabile predatore. Fin qua tutto bene, scienza di prim'ordine, ma la patologia arrivò con il manganese.⁵ I denti di squalo sono sparsi dappertutto sul fondo oceanico perché sono tra le sostanze organiche più resistenti a noi note, nonché l'unica parte del pesce che sopravvive alla sua morte, visto che gli squali hanno in maggioranza scheletri cartilaginei. Non è del tutto chiaro perché proprio il manganese, tra tutti i metalli disciolti nell'acqua marina, galvanizzi i denti fossili, ma è nota una stima della velocità di accumulazione, che varia tra 0,5 e 1,5 millimetri ogni mille anni. Basandosi su questi dati, si è calcolato che la stragrande maggioranza dei fossili ritrovati risalga ad almeno un milione e mezzo di anni fa, data presunta dell'estinzione dei megalodonti.

Ma c'è un ma, ed è qui che si sono infilati i patologici. Alcuni campioni presentavano uno strato di manganese misteriosamente sottile, corrispondente a un'età di undicimila anni – un attimo, dal punto di vista evolutivo. Nulla vietava che se ne trovassero anche di più recenti, magari *molto* recenti.

Avete capito dove stiamo andando a parare. Negli anni Sessanta un manipolo di appassionati di paleontologia dotati di tanta immaginazione, stile *Jurassic Park*, si convinsero che qualche esemplare isolato di megalodonte vagasse ancora per gli oceani. «Sono tra noi!» dicevano. E come le teorie complottiste sugli alieni o sull'assassinio di Kennedy, questa leggenda è diffusa ancora oggi. Chi ci crede racconta in genere che l'evoluzione ha trasformato i megalodonti in creature degli abissi, che oggi passano i loro giorni a combattere mostri marini nel buio delle profondità oceaniche. Come i fantasmi di Crookes, questi squali sono *ovviamente* difficili da vedere, il che fornisce una comoda via d'uscita contro le obiezioni sulla loro estrema scarsità.

È probabile che tutti noi, inconsciamente, vorremmo che la storia del megasqualo degli abissi fosse vera. Purtroppo, la favola si scontra con le indagini scientifiche. Tra le varie prove che si possono portare, c'è il fatto che i denti fossili circondati da uno strato sottile di manganese provengono quasi sicuramente da strati più antichi di rocce oceaniche, da cui sono stati in qualche modo strappati, dunque hanno molto più di undicimila anni. Tutte le testimonianze oculari relative ai mostri marini vengono da quei noti contastorie dei marinai, le cui stime delle dimensioni e dell'aspetto degli squali variano enormemente (un tale sostiene di aver visto una specie di Moby Dick bianco e lungo cento metri – peccato che non ci fosse nessuno con una macchina fotografica a portata di mano). In generale sono racconti che dipendono da interpretazioni soggettive, come accadeva a Crookes con gli spiriti. Senza prove oggettive, non è plausibile dare credito all'idea che i megalodonti, anche in piccolissimo numero, siano sfuggiti alle maglie dell'evoluzione.

Ma ciò che rende davvero la caccia al supersqualo un esempio di scienza patologica è il fatto che lo scetticismo della mag-

gioranza rafforzi ancor di più le convinzioni della minoranza. Invece di confutare le datazioni del manganese, i complottisti contrattaccano presentando storie eroiche di ricercatori ribelli che nel passato hanno sbugiardato gli errori della noiosa scienza ufficiale. Prima o poi salta sempre fuori il celacanto, un pesce di profondità dall'aspetto primitivo che si credeva estinto da ottanta milioni di anni e che invece è stato ritrovato in Sudafrica nel 1938, nella rete di una barca di pescatori. Secondo la loro logica, poiché la scienza ufficiale si era sbagliata in quell'occasione potrebbe essere nel torto anche sul megadolonte. E «potrebbe» basta e avanza a tutti i complottisti. Le loro teorie, infatti, non si basano sulla presentazione di nuovi dati, ma su una convinzione di tipo irrazionale, sul bisogno di credere che una certa storia fantastica sia vera.

Non c'è forse miglior esempio di questa componente emotiva della scienza patologica di quello del prossimo *case study*, un modello di illusione collettiva, il Forte Alamo dei complottisti, la sirena dei futuristi, l'Idra della scienza: la fusione fredda.

Pons e Fleischmann. Fleischmann e Pons. Sembravano destinati a diventare la più grande coppia scientifica dopo Watson e Crick, o forse addirittura dopo i Curie. Invece la loro fama si è tramutata in infamia. Oggi i nomi di B. Stanley Pons e Martin Fleischmann fanno pensare solo (anche se è una correlazione ingiusta) all'impostura e all'inganno.

L'esperimento all'origine della loro ascesa e caduta era di una semplicità sorprendente (anche se col senno di poi...). Nel 1989 questi due chimici dell'Università dello Utah misero un elettrodo ricoperto di palladio in un recipiente pieno di acqua pesante e accesero l'interruttore. Il passaggio della corrente nell'acqua normale spezza la molecola di H_2O e produce i gas idrogeno e ossigeno. Nell'acqua pesante accade qualcosa di simile, solo che l'idrogeno (in questo caso chiamato «deuterio») ha un neutrone supplementare; in luogo di normale idrogeno gassoso H_2 , con due protoni in totale, Pons e Fleischmann crearono molecole di idrogeno con due protoni e due neutroni.

Ciò che rendeva il tutto speciale era la presenza del palladio, un metallo biancastro capace di compiere un'impresa che ha dell'incredibile: riesce ad assorbire idrogeno fino a novecento volte il suo volume. E come se, grosso modo, un uomo di 125 chili ingoiasse una dozzina di elefanti africani maschi senza aumentare il girovita di un centimetro.⁶ Man mano che l'elettrodo al palladio si ingozzava, i termometri immersi nell'acqua registravano temperature alte, molto più alte di quelle che si sarebbero dovute o *potute* ottenere sulla base della scarsa energia della corrente. Pons scrisse poi che durante un picco particolarmente elevato, l'acqua surriscaldata fece un buco nel vetro, attraversò il banco del laboratorio e cadde sul pavimento di cemento, dove lasciò un segno.

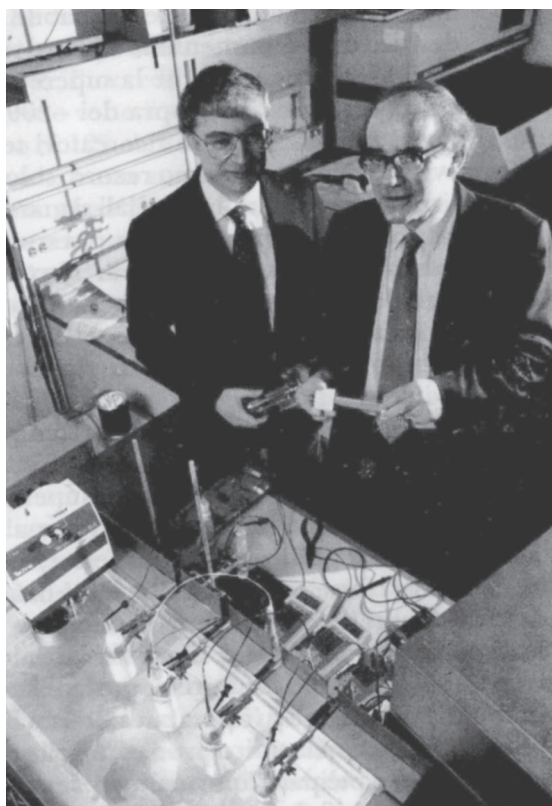
I picchi erano sporadici, a quanto pare. Si trattava in generale di un esperimento poco consistente, che non produceva sempre gli stessi risultati a partire dalle stesse condizioni di partenza. Ma invece di cercare di capire cosa stesse accadendo davvero, i due si fecero prendere dall'entusiasmo e si convinsero di aver scoperto la fusione fredda, cioè di aver ottenuto la fusione atomica senza le titaniche temperature e pressioni delle stelle. Vista la capacità del palladio di assorbire grandi quantità di idrogeno, ipotizzarono che quel materiale riuscisse in qualche modo a fondere insieme neutroni e protoni e creare elio, rilasciando al contempo grandi quantità di energia.

Con molta imprudenza, Pons e Fleischmann convocarono una conferenza stampa in cui resero pubblica la loro scoperta e fecero passare il messaggio che, in pratica, i problemi energetici dell'umanità erano finiti, grazie a una soluzione economica e non inquinante. E come il palladio, i media si bevvero senza problemi questa colossale sparata. (Venne fuori che un altro scienziato dell'Utah, il fisico Steven Jones, aveva eseguito un esperimento simile. Di lui però si parlò poco, perché sosteneva di aver scoperto qualcosa di molto meno rivoluzionario). Pons e Fleischmann divennero famosi all'istante, conquistando la fiducia dell'opinione pubblica e anche, in parte, del mondo scientifico. Durante una riunione dell'American Chemical Society, subito dopo il loro annuncio, i due furono lungamente applauditi dai colleghi.

Qui però è importante il contesto: è probabile che gli scienziati plaudenti avessero in mente la storia dei superconduttori. Fino al 1986 si pensava che la superconduzione fosse proprio impossibile al di sopra dei -200°C . In quell'anno, di punto in bianco, due ricercatori tedeschi (che avrebbero vinto il Nobel in tempo record, solo un anno dopo) scoprirono che in alcuni materiali si manifestava anche a temperature meno rigide. Altri gruppi si misero al lavoro con gli stessi metodi e in pochi mesi arrivarono ai superconduttori «a caldo» a base di ittrio che funzionavano a -138°C (oggi il record è stato abbassato a -103°C). Molti scienziati, un tempo convinti che tutto ciò non fosse possibile, sentivano di aver fatto la figura degli idioti in questa storia, che era analoga a quella del celacanto. E come i cacciatori di megalodonti, i patiti della fusione fredda nel 1989 potevano usare la recente *débâcle* dei superconduttori come monito, fino a spingere scienziati normalmente lapidari a sospendere il giudizio. L'atmosfera era di vera esaltazione, sembrava fosse possibile gettare alle ortiche un vecchio dogma – deliri tipici da scienza patologica.

Gli scettici però non mancavano. In particolare alcuni ricercatori del Caltech avevano intuito che qualcosa non tornava ed erano disturbati dall'arroganza di Pons e Fleischmann, che contrastava con la tipica prudenza della ricerca. I due avevano saltato a piè pari il normale processo di controllo delle ipotesi scientifiche, la *peer review*, per strombazzare i loro risultati, e c'era chi pensava che fossero solo due ciarlatani a caccia di denaro; si erano anche rivolti direttamente al presidente Bush senior per chiedere venticinque milioni di dollari da mettere immediatamente a disposizione per ricerche sulla fusione fredda. A renderli poco simpatici contribuiva anche il rifiuto di rispondere a domande specifiche sull'apparato sperimentale e sul protocollo di ricerca, come se fossero offesi del fatto che qualcuno dubitasse di loro. Dissero che non intendevano rivelare nulla per il timore che i colleghi rubassero loro l'idea, ma dall'esterno sembrava proprio che volessero nascondere qualcosa.

A ogni modo qualche dato trapelò e il crescente partito degli scettici (diffuso un po' in tutto il mondo, con l'ecce-



Nonostante le radicali smentite da parte di quasi tutti gli scienziati del mondo, Stanley Pons e Martin Fleischmann sostenevano di aver realizzato la fusione atomica a temperatura ambiente, sottoponendo l'acqua pesante a elettrolisi con elettrodi al palladio, elemento capace di assorbire grandi quantità di idrogeno (Special Collections Department, J. Willard Marriott Library, University of Utah).

zione di un gruppo di ricerca italiano che sosteneva di avere realizzato un'altra fusione a freddo) riuscì a riprodurre le condizioni dell'esperimento originale, con palladio e acqua pesante. Rifecero la prova e ottennero una lunga sequenza di risultati nulli, armati dei quali cominciarono a incalzare la coppia dello Utah. Poche settimane dopo, grazie a uno

sforzo collettivo per smentire una scoperta (e sbugiardare due colleghi) come non si era mai visto forse dai tempi di Galileo, centinaia di chimici e fisici si ritrovarono a Baltimora per un convegno lampo che aveva tutta l'aria di un putsch contro Pons e Fleischmann. I risultati erano imbarazzanti: i due non avevano tenuto conto degli errori sperimentali e avevano fatto misurazioni poco precise. Secondo un collega i picchi della «fusione» non erano altro che esplosioni dovute all'accumulo di grandi quantità di idrogeno, un po' come era accaduto al dirigibile *Hindenburg* (il caso tanto pubblicizzato in cui il calore aveva bucato il recipiente e il pavimento era avvenuto di notte, senza nessun testimone). In genere ci vogliono anni per emendare un errore contenuto in una ricerca, o per risolvere una disputa scientifica, ma la fusione fredda fu dichiarata morta e sepolta nel giro di quaranta giorni. Uno spiritosone presente al convegno immortalò la vicenda in questi versi, brutti dal punto di vista formale ma perfidi nella sostanza:

Dieci milioni di dollari han bruciato
perché qualche scienziato
ha messo la sonda nel posto sbagliato.

Ma l'aspetto psicologicamente interessante della vicenda era di là da venire. Credere nell'esistenza di una fonte di energia ecologica e a buon mercato pare sia un bisogno assai diffuso, e molti non erano disposti a gettare la spugna così presto. Fu a questo punto che la scienza divenne patologica. Come per i fenomeni paranormali, è fondamentale la presenza di un guru (il medium, o Pons e Fleischmann in questo caso), che è l'unico ad avere i poteri necessari per produrre il risultato desiderato, in particolari circostanze e mai davanti agli occhi dei profani. Ecco perché i fan della fusione fredda non furono frenati dalle smentite, ma anzi si sentirono incoraggiati a proseguire. Da parte loro, Pons e Fleischmann non si tirarono mai indietro e i loro seguaci li difesero a oltranza, perché erano i veri ribelli, i soli ad avere *capito*. Dopo il 1989 ci fu ancora qualcuno che eseguì altri

esperimenti per smentire la tesi della fusione fredda, ma i fan avevano sempre la scusa pronta per giustificare i risultati negativi, a volte con ragionamenti davvero ingegnosi, più di quanto lo fosse il lavoro originale che aveva dato vita al tutto. I critici presto si stufarono e smisero di cercare altre prove a sfavore. David Goodstein, fisico del Caltech, scrisse in un articolo dedicato alla faccenda pieno di osservazioni interessanti:⁷ «I tifosi della fusione fredda si vedono come un gruppo sotto assedio, dunque al loro interno c'è poco spazio per il dissenso. Gli esperimenti e le ipotesi teoriche si accettano senza discutere, per paura di offrire altro materiale alle critiche – sempre che interessino a qualcuno al di fuori del circolo. In queste circostanze prosperano i pazzoidi, che rendono la vita molto difficile a chi ancora crede che alla base di tutto ci siano serie teorie scientifiche». Difficile pensare una definizione più azzeccata e sintetica dei meccanismi alla base della scienza patologica.

La spiegazione più benevola della vicenda di Pons e Fleischmann mi sembra possa essere questa. È improbabile che i due fossero truffatori, ben consapevoli del fatto che la fusione fredda fosse una bufala ma determinati a racimolare fondi in fretta e furia. Il 1989 non è il 1789 e non è più possibile gabbare i villici di un paesello, scappare di notte e poi ripetere il truccetto nel paese vicino: adesso ti prendono subito. Forse avevano qualche dubbio sulle loro ricerche, ma erano accecati dall'ambizione e volevano provare la sensazione di essere considerati geni dal mondo intero, anche solo per un momento. Dal punto di vista scientifico, sono stati probabilmente ingannati dallo strano comportamento del palladio. Ancora oggi non sappiamo perché questo elemento si ingozza di idrogeno, e a *parziale* scusa di Pons e Fleischmann (molto parziale) c'è da dire che alcuni colleghi pensano che mettendo insieme palladio e acqua pesante succeda davvero qualcosa di strano. Sul metallo appaiono inspiegabili bolle e gli atomi si dispongono in configurazioni inedite. Pons e Fleischmann hanno almeno il merito di aver iniziato questo tipo di ricerche – anche se non per questo avrebbero voluto entrare nella storia della scienza.

Non tutti i ricercatori che hanno una vena di follia finiscono nelle grinfie della scienza patologica, ovviamente. C'è chi, come Crookes, supera le sue ossessioni e continua a lavorare ad alto livello. Ci sono poi rari casi in cui una ricerca che sembra a una prima analisi patologica si rivela poi vera scienza. Questo accadde a Wilhelm Röntgen, che si dannò l'anima per convincersi di avere sbagliato qualcosa nel suo lavoro su certi raggi invisibili, i cui risultati gli sembravano incredibili. La sua coscienza di scienziato e la testardaggine alla fine gli diedero ragione, e quest'uomo psicologicamente fragile fece una scoperta che cambiò il corso della storia.

Nel novembre 1895 Röntgen era nel suo laboratorio a Würzburg, nel nord della Baviera, e giocherellava con un tubo di Crookes, uno strumento nuovo di zecca utile nello studio dei fenomeni subatomici. Inventato da chi ben sapete, era una specie di lampadina al cui interno erano contenute due placche metalliche. Se le si collegava con un circuito elettrico, si produceva una scarica che si propagava nel vuoto passando da una placca all'altra, con un lampo da effetto speciale cinematografico. Oggi sappiamo che si tratta di un fascio di elettroni, ma allora si stava cercando di capire come stessero le cose.

Un altro scienziato aveva scoperto che se si praticava un foro nel tubo di Crookes e lo si copriva con un foglio di alluminio (come aveva fatto Per-Ingvar Brånemark con il titanio sulle ossa dei conigli), il fascio usciva dal tubo e si disperdeva nell'aria. Si esauriva quasi subito, perché l'aria sembrava avere effetti dannosi, ma era in grado di attivare uno schermo fosforescente posto a qualche centimetro di distanza. Röntgen, che era un po' nevrotico, amava ripetere gli esperimenti dei colleghi, senza curarsi se fossero o no significativi, quindi nel 1895 si costruì lo stesso apparato con qualche piccola variazione. Ricoprì il tubo di Crookes con un foglio di carta nera, in modo da concentrare i raggi solo attraverso il foro, e al posto dello schermo fosforescente usò come rilevatore una lastra coperta da una sostanza luminescente a base di bario.

Ci sono varie versioni di quello che accadde nei giorni successivi. Mentre Röntgen stava eseguendo dei test per verifi-

care che la scarica tra le placche metalliche si comportasse come doveva, vide qualcosa che catturò la sua attenzione. Secondo la versione più comune, si trattava di un cartoncino ricoperto di bario, che aveva lasciato su un tavolo vicino. Altri sostengono fosse un foglio di carta su cui uno studente aveva giocherellato con la vernice luminescente, tracciando la lettera A o forse S. Sia come sia, Röntgen era daltonico, dunque vide solo un lampo bianco alla periferia del campo visivo. Ma era un dato di fatto: ogni volta che accendeva la corrente il cartoncino (o la lettera) si illuminava.

Röntgen era sicuro che dal tubo di Crookes ricoperto di carta nera non sfuggisse la luce. Il laboratorio era oscurato, dunque non era nemmeno colpa del sole. Però era strano: i raggi di solito non duravano a lungo, tanto da arrivare fino a oggetti così distanti. La causa di tutto era chiaramente il tubo, ma quale strano fenomeno era in gioco? In seguito Röntgen confessò che in quei momenti pensava di avere le allucinazioni.

Prese allora una lastra coperta di bario e avvicinò al tubo il primo oggetto che trovò sottomano, un libro, per cercare di bloccare i raggi. Con stupore misto a orrore vide apparire sulla lastra il contorno di una chiave: era quella che teneva dentro il volume a mo' di segnalibro. *Vedeva attraverso le cose!* Rifece la prova con altri oggetti contenuti in scatole di legno, e il fenomeno si ripeté. Ma il momento davvero sconvolgente, al limite della magia nera, fu quando avvicinò la mano alla lastra reggendo un pezzo di metallo e vide apparire le sue ossa. No, pensò Röntgen, non erano allucinazioni: era davvero diventato pazzo.

Oggi possiamo anche sorridere di fronte ai turbamenti dello scopritore dei raggi X, ma concentriamoci sulla sua reazione. Invece di saltare subito alle conclusioni e ipotizzare, con grande gioia, di aver trovato qualcosa di totalmente nuovo, Röntgen diede per scontato che ci fosse qualcosa di sbagliato. Vergognandosi un po', decise che doveva confutare i suoi stessi risultati e si rinchiuse in laboratorio a lavorare senza posa per settimane intere. Lasciò liberi gli assistenti e limitò i contatti con la famiglia a qualche occasionale borbottio, mangiando come e quando capitava. Al contrario di

Crookes, dei cacciatori di megalodonti o di Pons e Fleischmann, Röntgen si accollò una fatica immane per cercare di far rientrare i suoi risultati nel solco della fisica classica. Non voleva fare la rivoluzione.

È buffo notare come, pur con tutti i suoi sforzi per non cadere nella scienza patologica, affiori la costante preoccupazione di non esser preso per pazzo. Il suo atteggiamento stranamente scostante e l'abitudine a parlare bofonchiano, in effetti, facevano dubitare della sua sanità mentale. Un giorno disse per scherzo alla moglie Bertha: «Sto finendo un lavoro che farà pensare a tutti quanti "To', il vecchio Röntgen è impazzito"». Allora aveva cinquant'anni, e chissà cosa ne pensava la moglie.

Ma i raggi emessi dal tubo di Crookes continuavano implacabili a mostrarsi sulle lastre al bario. Röntgen non aveva altra scelta, doveva registrare il fenomeno. Al contrario dei tre casi patologici visti sopra, non prese in considerazione effetti sporadici o impressioni soggettive, ma solo dati oggettivi, come le fotografie delle lastre. Dopo qualche giorno, leggermente rinfrancato, fece entrare la moglie Bertha in laboratorio un pomeriggio e le mise la mano davanti a un fascio di raggi X. La donna si vide le ossa e diede di matto, pensando che quell'immagine fosse di cattivo auspicio. Non volle mai più mettere piede in quel luogo stregato, ma la sua reazione fu di grande aiuto per Röntgen: era chiaro che non si era sognato tutto. Sua moglie gli aveva fatto il regalo più grande.

A quel punto emerse arruffato dal suo laboratorio e annunciò ai colleghi di tutta Europa che aveva scoperto certi misteriosi «raggi Röntgen». Ovviamente la prima reazione fu di totale scetticismo, come era accaduto a Crookes e come sarebbe successo ai cacciatori di megalodonti e a Pons e Fleischmann. Ma Röntgen era paziente e umile: a ogni obiezione rispondeva con nuovi dati, fino a quando i colleghi non ebbero più niente da ridire. Ecco un lieto fine che contrasta con le solitamente tristi storie di scienza patologica.

Gli scienziati sanno essere molto crudeli nei confronti di chi ha idee innovative. È facile immaginare i colleghi chiedere a Röntgen: «Santo cielo, Wilhelm, ci stai dicendo che



Una delle prime radiografie con le ossa della mano e il notevole anello di Bertha Röntgen, moglie di Wilhelm. Lo scienziato tedesco, che pensava di essere impazzito, fu molto sollevato nell'aver la moglie come testimone dei suoi esperimenti con le lastre di bario; la donna, meno coinvolta nei suoi drammi interiori, in quell'immagine vide solo un presagio di morte.

un "raggio misterioso" attraversa la carta nera e arriva a illuminarti le ossa? Su, dai...». Ma messi di fronte a dati concreti, ottenuti con esperimenti ripetibili, quasi tutti misero da parte le vecchie teorie e sposarono le sue. Röntgen, che era stato un ricercatore non particolarmente brillante fino ad allora, divenne l'eroe del momento. Nel 1901 vinse la prima edizione del premio Nobel per la fisica. Vent'anni

dopo, un collega di nome Henry Moseley avrebbe usato più o meno lo stesso apparato sperimentale per rivoluzionare lo studio degli elementi chimici. Più di un secolo dopo, nel 2004, la comunità scientifica sentiva ancora un debito di riconoscenza nei suoi confronti, tanto che l'elemento più pesante noto all'epoca, il numero 111, fino ad allora denominato in via provvisoria «unununio», fu ufficialmente battezzato roentgenio.

PARTE QUINTA

GLI ELEMENTI OGGI E DOMANI

LA CHIMICA DEL GRANDE FREDDO

50 Sn 118.711	18 Ar 39.948	60 Nd 144.242	37 Rb 85.468
---------------------	--------------------	---------------------	--------------------

Oltre a fornire un modello di scienziato serio e meticoloso, Rontgen ricordava anche ai colleghi che la tavola periodica è piena di sorprese. Sugli elementi c'è sempre qualcosa di nuovo da imparare, persino oggi; ma poiché la maggior parte delle scoperte a portata di mano sono già state fatte, riuscire a farne di nuove richiede misure radicali. La ricerca si è dovuta occupare di elementi in condizioni estreme, soprattutto a temperature molto basse: il freddo infatti sembra quasi ipnotizzare gli atomi e spingerli a comportarsi in modo peculiare. Qualche volta, però, il freddo estremo non porta nulla di buono, neppure agli esseri umani che fanno le scoperte. Un secolo fa, grazie agli sforzi di uomini coraggiosi, emuli di James Cook, l'Antartico era stato in buona parte esplorato, ma nessun essere umano aveva mai raggiunto il Polo Sud. Com'era inevitabile, questa situazione diede il la a una corsa epica per arrivare primi, che altrettanto inevitabilmente si accompagnò a storie tragiche. Una di queste ci mostra cosa può andare storto con la chimica alle basse temperature.

Il 1911 fu un anno gelido anche per le medie antartiche, ma ciò non fece desistere una banda di pallidi inglesi capitanata da Robert Falcon Scott dalla loro ferma decisione di raggiungere per primi i novanta gradi di latitudine sud. Ra-

dunati i cani e le provviste, si misero in marcia un giorno di novembre. La carovana era costituita soprattutto da uomini del supporto logistico; parte dei viveri e del combustibile venne lasciata in punti prefissati del cammino, per essere poi utilizzata nel viaggio di ritorno dall'esiguo gruppetto che era destinato a raggiungere la meta.

Poco a poco la spedizione si assottigliò. Alla fine, dopo mesi di cammino, nel gennaio 1912 cinque uomini, compreso Scott, arrivarono al Polo. Lì ebbero l'amara sorpresa di trovare una tenda canadese marrone, una bandiera norvegese e una lettera dal tono fintamente amichevole ma in realtà irritante. Il gruppo inglese aveva perso, battuto da Roald Amundsen e dai suoi uomini, che erano arrivati lì un mese prima. Scott registrò l'avvenimento nel suo diario in modo lapidario: «È successo l'irreparabile. Fine di tutti i sogni». E poche righe sotto: «Santo Iddio, che posto terribile! Ora dobbiamo tornare a casa, sarà una lotta disperata. Ce la faremo?».

Il ritorno di quegli uomini con il morale a terra sarebbe stato comunque difficile, ma il continente antartico tirò fuori il peggio del suo repertorio per rendere il viaggio pieno di sofferenza. Per settimane il gruppo fu bloccato da tempeste di neve simili a monsoni; nei loro diari (poi ritrovati) si legge di fame, sete, scorbuto, ipotermia e cancrena. Ma il colpo di grazia fu la mancanza di combustibile. Scott aveva attraversato la banchisa artica l'anno prima e si era accorto che le taniche di cherosene perdevano se sigillate con pelli di foca; per colpa loro aveva perso metà delle riserve di combustibile. Dunque per la spedizione al Polo Sud aveva fatto approntare tappi metallici a base di stagno, puro o con altri elementi. Ma quando, sfiniti, gli uomini raggiunsero le taniche che avevano lasciato di riserva per il viaggio di ritorno, si accorsero che molte erano vuote. E come se non bastasse, il cherosene fuoriuscito aveva contaminato le scorte alimentari.

Senza combustibile non era possibile cuocere i pasti o sciogliere il ghiaccio per bere. Ben presto uno del gruppo si ammalò e morì. Un altro impazzì e si perse nella tormenta. Gli ultimi tre, tra cui Scott, continuarono fino alla morte, avvenuta per inedia a fine marzo 1912. I loro

corpi furono ritrovati a soli diciotto chilometri da un campo base britannico.

All'epoca Scott era in patria l'equivalente di Neil Armstrong. La notizia della sua scomparsa fu accolta con grande angoscia (nel 1915, una chiesa fece addirittura montare una vetrata istoriata in suo onore). Per via della sua fama, si cercò un capro espiatorio che lo sollevasse da ogni colpa, e se ne trovò uno pronto alla bisogna nella tavola periodica. Lo stagno, che sigillava le taniche di cherosene nella spedizione Scott, è un metallo tenuto in gran conto fin dall'antichità perché si modella facilmente. Paradossalmente, però, man mano che la tecnologia progrediva, permettendo di ottenere metallo sempre più puro, ci si accorse che il risultato finale in realtà peggiorava. Utensili, monete o giocattoli di stagno si deterioravano con il freddo, coprendosi di una patina biancastra simile a brina. La patina a un certo punto si sollevava a formare varie bolle, che poi si spaccavano. Lo stagno corrosivo si indeboliva e alla fine si sbriciolava.

Al contrario della ruggine depositata sul ferro, la patina in questione non era il prodotto di una reazione chimica. Oggi sappiamo che gli atomi di stagno, nel dare forma solida al metallo, possono assumere due diverse configurazioni: una, la più forte, è detta «beta», mentre l'altra, detta «alfa», dà vita a oggetti che si sbriciolano facilmente. Il freddo fa appunto passare il metallo da beta ad alfa. Per capire la differenza tra queste due forme, immaginiamo di inserire gli atomi in una grande cassetta a strati, come se fossero arance. Una volta fatto il primo strato sul fondo, abbiamo due possibilità: impilare i frutti l'uno sull'altro o infilarli negli spazi che si creano tra due arance accostate, e così via per gli strati successivi. Chiamamente la prima configurazione, analoga alla struttura cristallina alfa, è più instabile della seconda, che rappresenta la struttura beta, meglio impaccata dell'altra. Le strutture, che sono solo due tra le tante possibilità di mettere insieme gli atomi, danno vita a oggetti con proprietà e densità diverse.

È probabile che il gruppo di Scott abbia imparato a proprie spese che gli atomi possono cambiare spontaneamente configurazione, passando da una struttura cristallina forte a una

struttura cristallina debole o viceversa. Di solito questo avviene in condizioni estreme, come quando il calore e la pressione sotterranei tramutano il carbonio da grafite in diamante. Allo stagno bastano circa 13 °C per diventare proteiforme. Anche una sera fresca di ottobre può causare il formarsi della patina biancastra, e se la temperatura scende il processo si accelera. Lo stress meccanico (come i colpi presi da una tanica di cherosene sbattuta senza troppi complimenti sulla banchisa ghiacciata) può agire da catalizzatore e far iniziare la corrosione anche in condizioni in cui normalmente non avverrebbe. Non stiamo parlando di un difetto superficiale, di una piccola cicatrice: la si chiama a volte «lebbra» o «peste» dello stagno, perché scava in profondità come una malattia grave. Il passaggio dalla configurazione beta a quella alfa può rilasciare molta energia, sufficiente a creare onde sonore udibili (vengono dette con una certa fantasia «grida dello stagno», anche se somigliano più al rumore statico di un impianto stereo).

Lo spostamento beta-alfa dello stagno è servito da comodo capro espiatorio in varie occasioni. In molte città europee dagli inverni rigidi (per esempio San Pietroburgo) si narrano storie di costose canne d'organo nuove di zecca che si sfarinano nell'attimo stesso in cui l'organista suona il primo accordo (tutta opera del diavolo, secondo i fedeli più devoti). Passando a un episodio più importante per le sorti del mondo, anche se contestato da molti storici, quando nel 1812 Napoleone attaccò sconsideratamente la Russia in inverno, si narra che i bottoni di stagno delle giubbe dei suoi soldati si sbriciolassero, lasciandoli esposti al vento. Come sarebbe poi accaduto a Scott e ai suoi uomini, l'armata napoleonica in Russia aveva affrontato un rischio tremendo. Ma il volubile elemento numero 50 aveva forse reso il compito ancor più difficile, ed era più facile incriminare la chimica, che non guarda in faccia a nessuno, piuttosto che un eroe e i suoi errori di valutazione.¹

È indubbio che Scott e i suoi uomini trovarono le taniche vuote – è scritto nel suo diario. Ma che le perdite siano da imputare alla lebbra dello stagno non è così certo. Le taniche provenienti da altre spedizioni sono state ritrovate intatte a distanza di decenni. Lo stagno utilizzato dagli inglesi

era effettivamente più puro, ma per innescare il processo di corrosione è necessario un grado di purezza molto elevato. Eppure non si vede altra spiegazione, oltre al sabotaggio, di cui però non ci sono prove. Forse è vero che Scott e i suoi uomini morirono sui ghiacci vittime, almeno in parte, della tavola periodica.

Quando la materia si raffredda e cambia stato possono accadere fatti davvero bizzarri. Alle medie abbiamo imparato che esistono tre stati intercambiabili: solido, liquido e gassoso. Al liceo gli insegnanti spesso ci parlano anche di un quarto stato, il plasma, in cui gli elettroni si staccano dalla loro casa atomica e vagano liberi – una condizione che si verifica per esempio nelle stelle.² Studiando fisica a livelli più avanzati, si scoprono prima i superconduttori e i superfluidi e poi stranezze come il plasma di quark e gluoni o la materia degenere – e c'è sempre il professore spiritoso che ci chiede come mai la gelatina non conti come stato a sé (risposta: è un colloide, una mistura di sostanze in stati diversi che può essere visto sia come un solido molto plastico sia come un liquido molto viscoso).³

Il fatto è che l'universo ha posto per tanti stati della materia, cioè tante possibili configurazioni microscopiche delle particelle – molti più dei nostri miseri e provinciali solidi, liquidi e gas. E non stiamo parlando di ibridi come la gelatina. In certi casi cade addirittura la distinzione tra massa ed energia, come nello stato scoperto da Einstein nel 1924 giocherellando con qualche equazione della meccanica quantistica. Lui pensava di aver fatto qualche errore e che quel tipo di materia fosse troppo strano per poter esistere, fino a quando nel 1995 lo si è creato per davvero.

In un certo senso, i solidi sono lo stato più semplice della materia. (A essere precisi, gli atomi sono in grandissima parte vuoti, ma la frenetica attività degli elettroni fornisce, ai nostri sensi imprecisi, una persistente illusione di solidità). Gli atomi in questo caso si dispongono secondo moduli ripetuti, anche se tutti gli elementi solidi, o quasi, possono formare cristalli in modi diversi. Oggi siamo in grado di forzare il ghiaccio ad assumere quattordici configurazioni diverse,

grazie a strumenti detti camere ad alta pressione. Alcuni di questi tipi di ghiaccio affondano in acqua, invece di galleggiare, altri creano fiocchi di neve non esagonali ma a forma di foglia o di cavolfiore. Una sostanza che si direbbe aliena, battezzata «ghiaccio X», fonde a 2037 °C. Anche una sostanza complessa e piena di impurità come il cioccolato forma dei quasi-cristalli in grado di cambiare configurazione. Mai trovata una vecchia tavoletta di cioccolato ricoperta da una poco invitante patina bianca? È l'equivalente della lebbra dello stagno, segno di uno spostamento da beta ad alfa simile a quello che condannò Scott e compagni al Polo Sud.

I solidi cristallini si formano soprattutto a basse temperature; quando queste scendono in modo significativo, alcuni elementi anche familiari si trasformano fino a diventare irriconoscibili. Persino quegli snob dei gas nobili, se spinti a diventare solidi, possono decidere che accostarsi ad altri atomi non è poi una cattiva idea. Con una mossa che all'epoca sembrò la violazione di un dogma, nel 1962 il chimico Neil Bartlett creò in un laboratorio canadese il primo composto di un gas nobile, un solido cristallino arancione a base di xeno.⁴ La reazione avvenne a temperatura ambiente e vide protagonista l'esafluoruro di platino, sostanza estremamente caustica; lo xeno, inoltre, è il più pesante tra i gas nobili e reagisce con più facilità degli altri perché i suoi elettroni sono meno strettamente legati al nucleo. Per coinvolgere in reazioni i gas nobili più leggeri ci vollero temperature decisamente basse, necessarie in un certo senso per anestetizzarli: il combattivo kripto resistette fino a -151 °C prima di soccombere al versatile fluoro.

Far reagire il kripto fu un'impresa da nulla, simile a mescolare acqua e farina, se paragonata alla battaglia per far attaccare qualcosa all'argo. Dopo la scoperta di Bartlett del 1962 e la reazione del kripto nel 1963, ci vollero trentasette anni di frustrazioni prima che un gruppo di scienziati finlandesi riuscisse finalmente a capire quale fosse la procedura corretta per l'argo. L'esperimento risolutivo fu complesso come la costruzione di un uovo Fabergé e coinvolse argo solido, idrogeno, fluoro, ioduro di cesio (un catalizzatore molto reattivo), il tutto in presenza di raggi ultravioletti

attivati al momento giusto e a una temperatura di -265°C . Pochi gradi in più e tutto sarebbe crollato.

Ma al di sotto di quella temperatura il fluoridrato di argo era un composto cristallino stabile. Il gruppo finlandese annunciò al mondo la sua impresa in un articolo dal titolo per una volta tanto accessibile: *A Stable Argon Compound* («Un composto stabile dell'argo»). In effetti raccontare quel che si era ottenuto bastava e avanzava come motivo di vanto. Oggi gli esperti sono convinti che anche nelle regioni più fredde dello spazio l'elio e il neon non si sono mai legati ad alcun altro elemento; dunque per il momento è l'argo a detenere la palma del più riottoso.

Data la riluttanza dell'argo a cambiare le sue abitudini chimiche, forzarlo a legarsi ad altri elementi è stata una grande impresa scientifica. Sia come sia, i gas nobili o le diverse configurazioni atomiche come alfa e beta nello stagno non sono oggi considerati veri stati separati della materia. Per cambiare stato sono necessarie energie molto diverse, che mutano in modo significativo le interazioni tra gli atomi. Ecco perché i solidi (in cui gli atomi stanno in genere fermi al loro posto), i liquidi (in cui gli atomi hanno una certa libertà di movimento) e i gas (in cui gli atomi possono vagare a piacimento) sono veramente stati distinti della materia.

Ma solidi, liquidi e gas hanno pur sempre molte caratteristiche in comune. Tanto per cominciare, le particelle che li compongono sono entità ben definite e discrete. Quando le temperature salgono e la materia entra nello stato di plasma, questo ordine lascia posto all'anarchia in cui gli atomi si disintegrano; e se fa abbastanza freddo per far emergere strani stati «collettivisti» della materia, le particelle si sovrappongono e si combinano in modi affascinanti.

Prendiamo per esempio i superconduttori. L'elettricità è un fenomeno semplice, niente più di un flusso di elettroni. In un normale filo di rame, gli elettroni scorrono tra gli atomi del metallo; a volte ci sono collisioni tra particelle, che rilasciano energia percepibile all'esterno sotto forma di calore. Nei superconduttori dev'essere per forza all'opera un meccanismo che evita

questi scontri e che permette agli elettroni di scorrere senza impedimenti. In effetti la corrente non cessa mai se l'elemento conduttore è tenuto a temperature bassissime, un fenomeno scoperto per la prima volta nel mercurio già nel 1911. Per lungo tempo la teoria prevalente sosteneva che nei superconduttori ci fosse più spazio di manovra per gli elettroni, perché gli atomi sono meno energetici, vibrano di meno e dunque lasciano più margine per evitare gli urti. Sembra un'ipotesi sensata, ma come si scoprì nel 1957 in realtà quando la temperatura scende sono gli elettroni a subire una metamorfosi.

Quando passano vicino agli atomi di un superconduttore, gli elettroni attraggono la parte positiva dei nuclei, modificando la densità di carica degli atomi stessi. Questo squilibrio attrae altri elettroni, che in un certo senso si accoppiano tra di loro. Non è un legame forte, ma è più simile alla debole unione tra argo e fluoro, ed è per questo che il fenomeno si nota solo a basse temperature, quando gli atomi non vibrano tanto da romperli. In queste circostanze non ha più senso parlare di elettroni isolati, perché sono sempre in coppia. Se mentre percorrono un circuito uno dei due viene rallentato o urta un atomo, il partner lo trascina via prima che si fermi. Questo comportamento a livello microscopico, se attuato da miliardi di miliardi di particelle, si traduce a livello macroscopico nella superconduttività.

Questa teoria, per inciso, è nota come teoria BCS della superconduttività, dai nomi dei suoi creatori: John Bardeen, Leon Cooper (gli elettroni accoppiati si chiamano «coppie di Cooper») e Robert Schrieffer.⁵ Bardeen è lo stesso che abbiamo incontrato come inventore del transistor al germanio, e che quando apprese di aver vinto il Nobel fece cadere sul pavimento la frittata che stava cuocendo. Nel 1951 aveva lasciato i Bell Laboratories per trasferirsi in Illinois e si era dedicato a ricerche sulla superconduttività. Sei anni dopo il terzetto BCS formulò la sua teoria, che si rivelò tanto precisa da garantire loro il Nobel per la fisica nel 1972. Bardeen questa volta saltò la conferenza stampa indetta dalla sua università perché non riuscì ad aprire la porta elettronica nuova di zecca del garage (che funzionava grazie ai transistor). Ma nel suo secondo viag-

gio a Stoccolma poté dare compimento alla promessa che aveva fatto negli anni Cinquanta e presentare al re di Svezia i suoi due figli, ormai adulti.

Se la materia si raffredda a temperature ancora più basse di quelle della superconduttività, gli atomi impazziscono, si accalcano e si fagocitano, entrando in uno stato detto «coerente». La coerenza è un fenomeno indispensabile in quello stato apparentemente impossibile scoperto da Einstein, di cui vi ho parlato più sopra. Per capire di cosa si tratta è necessario divagare brevemente e occuparci della natura della luce e di un'invenzione a lungo considerata irrealizzabile: il laser (non preoccupatevi, parleremo anche di tanti elementi chimici).

Pochi fenomeni hanno il potere di soddisfare lo strano senso estetico dei fisici come l'intrinseca ambiguità della luce. In genere la si concepisce sotto forma di onde luminose; Einstein formulò la teoria della relatività ristretta pensando a come sarebbe apparso lo spazio e quanto lentamente sarebbe trascorso il tempo nel caso in cui un osservatore si trovasse a cavalcioni di una di queste onde (non chiedetemi come abbia avuto l'idea). Al tempo stesso, l'onnipresente Einstein dimostrò che la luce a volte si comporta come se fosse costituita da tante particelle dette fotoni. Mettendo insieme il modello a onde e quello a fotoni si ha la cosiddetta «dualità onda-particella» della fisica contemporanea. La luce è la cosa più veloce dell'universo e niente può superare i suoi trecentomila chilometri al secondo nel vuoto. Se venga rilevata come onda o particella, dipende dal contesto: la luce non è mai né del tutto onda, né del tutto particella.

La sua alga perfezione del vuoto si corrompe a contatto con certi elementi. Il sodio e il praseodimio riescono a rallentare la luce fino a 9,6 chilometri al secondo, velocità inferiore a quella del suono. Sono anche in grado di catturare la luce e, come un ricevitore nel baseball, tenercela per qualche secondo prima di rilanciarla in un'altra direzione. I laser cambiano il comportamento della luce in modi più sofisticati. Come ricorderete, i livelli energetici degli elettroni sono come i piani

di un condominio: non si può passare, per esempio, dall'1 al 3,5, o dal 5 al 2,8, ma sempre da un numero intero a un altro. Quando un elettrone eccitato che ha fatto il salto di livello ritorna giù, libera l'energia in eccesso emettendola in forma di luce; e poiché il suo comportamento è sottoposto a rigidi vincoli, la luce in questione è monocromatica, cioè di un solo colore. Questo in teoria. Nella pratica, gli elettroni di vari atomi saltano da vari livelli ad altri, e bisogna tener conto anche dei ritardi temporali. Il risultato è che la luce emessa ai nostri occhi appare uniforme, ma a livello microscopico sembra un guazzabuglio senza capo né coda,

I laser mettono ordine e danno il ritmo, ponendo limiti ai piani del condominio a cui gli elettroni si possono fermare (mentre i loro parenti, detti maser, fanno la stessa cosa nel campo delle onde elettromagnetiche non visibili). I laser più potenti e tecnologicamente avanzati oggi a disposizione riescono a produrre, per brevissimo tempo, raggi la cui energia è maggiore di tutta quella prodotta negli Stati Uniti. Funzionano grazie a cristalli di ittrio addizionati di neodimio, all'interno dei quali una luce stroboscopica gira con incredibile velocità e potenza. Questo bagno di luce eccita gli elettroni del neodimio e li fa salire in alto, molto più in alto del normale, l'equivalente del nono piano. Ma i poveretti soffrono di vertigini e cercano subito di scendere al primo. Questo repentino abbassamento li pone in stato di shock, tanto che si dimenticano di rilasciare l'energia in eccesso sotto forma di luce, cominciano a tremare e a emettere calore. Inoltre, felici di non essere più in alto, invece di scendere fino a pianterreno si trattengono al primo piano a bighellonare.

Prima che possano avvicinarsi all'ascensore, la luce stroboscopica colpisce ancora e manda altri elettroni di neodimio fino al nono piano. La storia si ripete, fino a che il primo piano diventa troppo affollato: a un certo punto c'è più gente lì che a pianterreno. Se a un elettrone viene voglia di scendere giù, disturba per forza la folla, che entra nel panico e comincia a cadere di sotto in massa. E qui c'è il tocco da maestro: in questo collasso collettivo tutti gli elettroni fanno un salto di un solo piano allo stesso tempo, dunque

producono luce monocromatica. Questa coerenza è il punto chiave dei laser. Le altre parti della macchina servono a concentrare e direzionare i raggi, facendoli rimbalzare tra due pareti specchiate. Ma a quel punto i cristalli di ittrio e neodimio hanno già fatto il grosso del lavoro, producendo luce coerente e concentrata, così potente da riuscire a innescare la fusione termonucleare e così precisa da incidere la cornea senza bruciare il resto dell'occhio.

A giudicare da questa descrizione, i laser (e i maser, storicamente precedenti) sembrano meraviglie ingegneristiche oltre che scientifiche. Eppure negli anni Cinquanta c'era chi li boicottava. Charles Townes, che costruì il primo maser funzionante, ricorda come i colleghi più anziani e importanti lo guardassero con condiscendenza e gli ripetessero che i suoi risultati erano impossibili. E non stiamo parlando di ciarlatani o miopi baroni incapaci di scorgere il futuro. Tra gli scettici c'era gente del calibro di John von Neumann, uno dei padri dei moderni calcolatori (e delle bombe atomiche), e Niels Bohr, grande guru della meccanica quantistica.

Il loro errore, col senno di poi, si spiega facilmente: si erano dimenticati della duplice natura della luce. Nello specifico, furono travati dal principio di indeterminazione della meccanica quantistica, quello scoperto da Werner Heisenberg. Poiché si tratta di un'idea spesso fraintesa, ma che se capita fornisce un utilissimo strumento per indagare gli stati della materia, qui di seguito cercherò di spiegare meglio questo enigma universale.

Se poche cose stuzzicano i fisici più della natura della luce, nulla li irrita più di vedere il principio di indeterminazione tirato in ballo a sproposito. Nonostante quel che si sente spesso dire in giro, non ha niente a che fare (o quasi)⁶ con l'idea che gli osservatori interferiscano con i fenomeni per il solo fatto di osservarli. Il principio di indeterminazione dice soltanto:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Tutto qua.

Ora proviamo a tradurre la meccanica quantistica in linguaggio ordinario – impresa sempre rischiosa. L'equazione afferma che l'incertezza nella misura della posizione di un certo oggetto (Δx) moltiplicata per l'incertezza nella misura della velocità (Δp , dove p a essere precisi è la quantità di moto, cioè massa per velocità) è sempre maggiore o uguale a un valore costante, qui scritto come « h diviso quattro volte π greco» (h è la cosiddetta «costante di Planck», una quantità minuscola, una frazione dell'ordine di dieci milionesimi di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo, ed è questo il motivo per cui gli effetti del principio si vedono solo in oggetti davvero piccoli, come elettroni o fotoni). In altre parole, maggiore è la precisione con cui si conosce la posizione di una particella, minore è la precisione con cui si può conoscere la sua velocità, e viceversa.

Queste incertezze di cui si parla non sono imprecisioni di misurazione, come quelle dovute a uno strumento rozzo: sono connaturate agli oggetti. Ricorderete che la luce ha una duplice natura di onda e particella. Ebbene, nel liquidare come impossibile il laser, von Neumann e Bohr si intestardirono sui fotoni, ossia sull'aspetto particellare della luce. Ai loro occhi, i fotoni prodotti da uno strumento così preciso avrebbero avuto quantità di moto della massima indeterminazione, cioè avrebbero potuto andarsene in giro con energie e velocità a piacere, il che sembrava contraddire l'idea stessa di raggio concentrato.

Si erano dimenticati che la luce si comporta anche come un'onda e che in questo ambito le regole sono diverse. Tanto per iniziare, come si può parlare di «posizione» di un'onda? Per sua stessa natura è un oggetto esteso nello spazio, dunque è una fonte intrinseca di indeterminazione. E contrariamente alle particelle, le onde riescono a combinarsi tra loro: provate a lanciare due sassi in uno stagno e osservate come le creste delle onde generate sono più alte nello spazio tra i due punti di impatto, che riceve energia da due treni d'onde di frequenze maggiori.

Nel caso del laser, i «sassi» diventano miliardi di miliardi di miliardi di elettroni, le cui onde si combinano. Il punto chiave è questo: il principio di indeterminazione non si applica ai

sistemi ma solo alle particelle singole. All'interno di un raggio luminoso non sappiamo dire dove stiano i vari fotoni. Una simile incertezza sulle posizioni individuali rende possibile incanalare la loro energia con grandissima precisione e dunque rendere il fascio luminoso un raggio laser. Questo trucco è difficile da mettere in pratica, ma una volta capito come fare diventa una tecnica di straordinaria utilità. Ecco perché il «Time» mise Townes tra gli «uomini dell'anno» nella famosa copertina del 1960 (accanto a Pauling e Segrè) e perché nel 1964 gli fu conferito il premio Nobel per la fisica.

Ben presto ci si rese conto che il trucco si poteva applicare non solo ai fotoni. La dualità non è esclusiva della luce. Se ci mettiamo ad analizzare nel massimo dettaglio elettroni, protoni e altre particelle «dure», ci accorgiamo che le cose si fanno più sfumate e che la materia, al livello più misterioso, quello quantistico, ha caratteristiche ondulatorie e di indeterminazione. E poiché in ultima analisi il principio di indeterminazione è una legge matematica che stabilisce limiti applicabili a oggetti che si comportano anche come onde, si può estendere alle particelle materiali.

Ribadiamo che i suoi effetti sono visibili a scale davvero microscopiche, dove la costante di Planck non sembra poi così piccola. I fisici sono in grave imbarazzo di fronte a estrapolazioni macroscopiche del principio, per cui $\Delta x \Delta p \geq h / 4\pi$ sarebbe una «prova» del fatto che anche nella realtà quotidiana nulla si può osservare senza cambiarlo, o per i più audaci che l'oggettività è un mito e che gli scienziati si illudono di «conoscere» ciò che non possono raggiungere. In verità c'è un solo caso in cui il principio di indeterminazione ha effetti visibili a scale non microscopiche, ed è quel bizzarro stato della materia scoperto per caso da Einstein a cui ho accennato sopra. È detto «condensato di Bose-Einstein» ed è noto con la sigla BEC.

La storia inizia nei primi anni Venti del secolo scorso e ha come protagonista un fisico indiano occhialuto e grassottelle di nome Satyendra Nath Bose. Mentre stava spiegando certe equazioni della meccanica quantistica durante una conferenza, commise un banale errore da principiante. Quando se ne accorse, si trovò di fronte a un dato sorpren-

dente: aveva fatto tutti i calcoli con i dati sbagliati ed era arrivato a risultati che si accordavano molto bene con certe misurazioni sperimentali relative ai fotoni, addirittura meglio della teoria che si presupponeva corretta.

E come è accaduto altre volte nella storia della fisica, Bose decise di far finta che il suo dato errato fosse quello giusto. Scrisse allora un articolo in cui mostrava che i conti tornavano, e in cui confessava di non avere idea del perché. L'errore di partenza e il fatto che Fautore fosse indiano e ignoto ai più segnarono l'articolo, che fu rifiutato da tutte le riviste scientifiche d'Europa. Senza scoraggiarsi più di tanto, Bose lo spedì direttamente a Einstein. Il grande fisico lo lesse attentamente e concluse che l'idea di fondo era geniale: certe particelle, come i fotoni, potevano collassare le une sulle altre fino a diventare indistinguibili. Einstein ripulì l'articolo dalle imprecisioni, lo tradusse in tedesco e lo usò come base per un suo lavoro in cui estendeva la teoria di Bose agli atomi interi. Grazie alla sua fama, entrambi gli articoli furono pubblicati senza problemi.

Einstein accennava al fatto che se la materia fosse stata adeguatamente raffreddata, a temperature miliardi di volte inferiori a quelle a cui operano i superconduttori, si sarebbe condensata e avrebbe formato un nuovo stato. Le capacità tecniche dell'epoca erano molto lontane dal rendere la cosa realizzabile, e persino un grande visionario come Einstein la considerava nulla più di un ozioso *divertissement*. Sorprendentemente, solo una decina di anni dopo si ebbe un primo assaggio di cosa fosse il BEC grazie all'elio superfluido, in cui si osservarono sacche isolate di atomi unirsi insieme. Anche le coppie di Cooper che abbiamo visto sopra si comportano in un certo senso come il BEC. Ma si trattava in ogni caso di un fenomeno limitato, che dava vita a uno stato della materia ben diverso da quello immaginato da Einstein: era una specie di rada e gelida nebbiolina. A ogni modo, nessuno volle esplorare più a fondo le potenziali conseguenze di queste stranezze atomiche, e nulla accadde fino al 1995, quando due abili ricercatori dell'Università del Colorado riuscirono a produrre il condensato all'interno di un gas di rubidio.

In modo assai appropriato, il laser ebbe un ruolo decisivo

nell'esperimento, che si basava sulle idee originali di Bose relative ai fotoni. Può sembrare strano, visto che i laser di solito scaldano la materia, ma in realtà questi strumenti, se usati con intelligenza, riescono anche a raffreddarla. A livello microscopico, la temperatura misura semplicemente la velocità media delle particelle. Le molecole calde sono agitate come moscerini, mentre quelle fredde si trascinano pigramente. Per abbassare la temperatura di un oggetto basta dunque rallentare in qualche modo le sue molecole. Se si incrociano opportunamente certi raggi laser – come in *Ghostbusters* – si crea una specie di «carta moschicida ottica», usata per rallentare le particelle. Nell'esperimento di cui sopra, gli atomi di rubidio passavano attraverso i flussi incrociati e venivano colpiti dai fotoni; i primi sono molto più grossi e pesanti, dunque in genere ne risentono ben poco (è come cercare di distruggere un meteorite a colpi di mitraglia). Ma se i proiettili sono davvero tantissimi, alla fine anche il bersaglio più grande viene distrutto, o in questo caso rallentato, ed è proprio ciò che accadde agli atomi di rubidio: invischiati dai fotoni, diventavano sempre più lenti fino a raggiungere una temperatura pari a un decimillesimo di grado sopra lo zero assoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$).

Ma era ancora troppo caldo per il BEC (ora è chiaro perché Einstein era pessimista). I due del Colorado, Eric Cornell e Carl Wieman, aggiunsero allora una seconda fase di raffreddamento, in cui un magnete si occupava di spazzar via gli atomi più caldi (relativamente parlando) rimasti dopo il passaggio dei laser. Era come una versione molto complicata del gesto di raffreddare la minestra soffiando sul cucchiaino. Senza gli atomi più energetici, la temperatura poteva ancora scendere. Il processo ripetuto lentamente e con precisione, pochi atomi alla volta, portò alla fine a una temperatura di un milionesimo di grado ($0,00000001$) sopra lo zero assoluto. A questo punto, finalmente, i circa duemila atomi di rubidio raggiunsero lo stato di condensato di Bose-Einstein: una massa gelida, informe e fragile come altra mai nell'universo.

Parlare di «duemila atomi di rubidio» non rende giustizia alla natura specialissima del BEC. Si trattava in realtà di

un'unica gelatina gigante di rubidio, una singolarità che deve la sua esistenza al principio di indeterminazione. Ricordiamo che la temperatura misura sostanzialmente la velocità media delle molecole; quando il freddo è davvero intenso (diciamo un milionesimo di grado oltre lo zero assoluto) la velocità si riduce praticamente a zero, con un grado di incertezza molto basso. Dunque la posizione degli atomi in tale occasione è davvero molto indeterminata.

L'incertezza era tale che i ricercatori, continuando a raffreddare gli atomi di rubidio e tenendoli ben stretti gli uni agli altri, riuscirono a farli gonfiare, distendere, sovrapporsi e infine annullarsi in un unico, spettrale «atomo» che in teoria, se non fosse stato così fragile, si sarebbe potuto osservare al microscopio. Ecco perché si può affermare che in questo caso, unico al mondo, il principio di indeterminazione ha conseguenze (quasi) visibili a scala umana. Per realizzare il tutto fu necessario un apparato non troppo costoso (meno di centomila dollari), che tenne in vita il BEC per dieci secondi. Era abbastanza per un premio Nobel, che Cornell e Wieman vinsero nel 2001.⁷

Man mano che la tecnologia si fa più sofisticata, i ricercatori diventano sempre più bravi a convincere la materia a entrare nello stato di BEC. Non sono proprio dietro l'angolo, ma si parla già di «laser di materia» che sparano raggi molto ben focalizzati di atomi migliaia di volte più potenti dei fasci luminosi, o di cubetti di ghiaccio «supersolidi» in grado di attraversarsi l'un l'altro senza sciogliersi. Chissà, nel mondo del futuro questi oggetti potrebbero essere utili e sorprendenti tanto quanto i laser e i superfluidi lo sono nel nostro assai interessante presente.

SFERE DI SPLENDORE: LA SCIENZA DELLE BOLLE

¹ H 1.008	²⁰ Ca 40.078	¹⁰⁴ Rf (247)	⁸⁶ Rn 222	⁴⁰ Zr 81.224	⁵⁴ Xe 131.294
----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------	--------------------------------

Non tutte le grandi scoperte chimiche coinvolgono complessi ed esotici stati della materia come il condensato di Bose-Einstein. Anche i liquidi, i solidi e i gas che incontriamo nella vita quotidiana possono a volte nascondere segreti interessanti, che vengono alla luce quando la fortuna e l'ispirazione scientifica si danno la mano. Secondo la vulgata, tanto per fare un esempio, uno degli strumenti scientifici più importanti della storia fu inventato davanti a un bicchiere di birra. Anzi, grazie a un bicchiere di birra.

Donald Glaser era un semplice assistente di fisica venticinquenne dell'Università del Michigan, amante della birra e abituale frequentatore dei bar vicini all'università. Mentre contemplava, una sera, le bollicine che salivano nella sua Pilsner, quasi senza accorgersene si trovò a pensare alla fisica delle particelle. Correva l'anno 1952 e all'epoca i ricercatori stavano ancora raccogliendo i frutti del Progetto Manhattan; la scienza nucleare aveva scoperto un modo per creare specie esotiche e fragili di particelle come i kaoni, i muoni e i pioni, parenti fantasma dei ben più solidi e noti elettroni, neutroni e protoni. Tra gli specialisti era diffusa la convinzione, se non la speranza, che queste strane creature avrebbero detronizzato la tavola periodica come mappa fondamentale della materia, dal momento

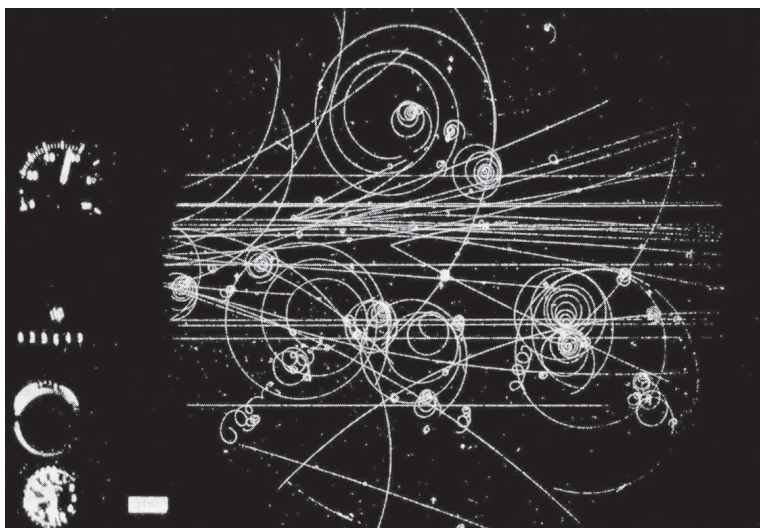
che avrebbero dato la possibilità di guardare più a fondo nei recessi subatomici.

Per progredire ancora, tuttavia, avevano bisogno di un metodo migliore per «vedere» queste particelle infinitesimali e osservare i loro comportamenti. Glaser, un giovanotto occhialuto dai corti capelli ricci e dalla fronte spaziosa, di fronte al boccale di birra decise che la soluzione era nelle bolle. Nei liquidi, le bolle si formano intorno a imperfezioni o disomogeneità, come per esempio i microscopici graffi sul vetro di un calice di champagne, o le molecole di anidride carbonica disciolte nella birra. Essendo un fisico, Glaser sapeva che le bolle tendono a formarsi soprattutto quando i liquidi riscaldati si avvicinano al loro punto di ebollizione (basta pensare all'acqua per la pasta). In effetti, se si tiene un liquido appena sotto quella temperatura critica, basta il minimo disturbo per produrre un gran numero di bolle.

Fin qui tutto bene, ma siamo sempre nel campo della fisica elementare. L'originalità di Glaser risiede nei passi successivi del suo ragionamento. Kaoni, muoni e pioni compaiono solo in seguito a una fissione del nucleo. Nel 1952 esisteva già un apparato per rivelarne la presenza, detto «camera a nebbia», in cui una specie di cannone atomico sparava particelle ad altissima velocità in presenza di un gas molto freddo. Muoni e compagnia bella, prodotti dalla collisione dei nuclei, si manifestavano in certe occasioni nella camera a nebbia lasciando tracce simili alle scie di condensazione degli aerei. Glaser ebbe l'idea di sostituire il gas con un liquido. Dopo tutto, i liquidi sono migliaia di volte più densi, quindi sparare con il cannone atomico, per esempio, dentro un contenitore pieno di idrogeno liquido avrebbe creato molte più opportunità di collisione. Tenendo l'idrogeno a una temperatura appena inferiore a quella di ebollizione, sarebbe bastato il passaggio di una particella a bassissima energia per causare una bella scia di bolle, come quelle che si manifestano nella birra. Glaser intuì anche che sarebbe stato possibile fotografare le scie per vedere quali tipi di traiettorie fossero associate ai vari tipi di particelle. Il tempo di finire il boccale, e tutti i dettagli della storia gli si erano chiariti.

Agli scienziati piace credere che si sia trattato di una scoperta casuale. Purtroppo però, come quasi sempre accade nelle leggende, le cose non andarono esattamente così. Glaser fu effettivamente l'inventore del nuovo strumento, chiamato «camera a bolle», ma ci arrivò dopo rigorosi esperimenti in laboratorio, non improvvisando qualche formula sul tovagliolo di carta del bar. C'è però un elemento che rende la vera storia più divertente di quella apocrifia. La prima camera a bolle funzionava come detto sopra, ma con una piccola differenza.

Dio solo sa perché, Glaser (che dopo tutto era appena uscito dall'università, e forse aveva nostalgia dei bagordi studenteschi) decise che il mezzo più adatto da bersagliare con il suo cannone atomico non era l'idrogeno liquido, ma la birra. Pensava veramente che la sua amata bionda lo avrebbe condotto a una scoperta epocale nel campo della fisica delle particelle. Mi immagino la scena: il giovanotto che nottetempo si portava in laboratorio delle lattine, e



A seconda della loro massa e carica, le varie particelle subatomiche che attraversano una camera a bolle seguono diverse traiettorie dritte, curve o spiraliformi. Le tracce sono costituite da tante minutissime bollicine che appaiono in un bagno gelido di idrogeno liquido (per gentile concessione del CERN).

magari sacrificava una parte di una confezione da sei sull'altare della scienza – bevendosi il resto, naturalmente – riempiendo provette non più grandi di un ditale di ottima Budweiser, che riscaldava fin quasi all'ebollizione, prima di bombardarle per produrre le più esotiche particelle allora conosciute.

Purtroppo gli esperimenti furono un fiasco (un vero peccato per la scienza, commentò in seguito Glaser), per la gioia dei suoi compagni di laboratorio, che di certo non gradivano il tanfo di birra evaporata. Senza perdersi d'animo, il giovane ritornò sui suoi passi e, con l'aiuto del collega Luis Alvarez (lo stesso della teoria dell'estinzione dei dinosauri a causa di un meteorite), si decise alla fine a usare l'idrogeno liquido. Questo fluido bolle a $-252\text{ }^{\circ}\text{C}$, dunque basta una minima quantità di calore per farlo spumeggiare. Essendo il più semplice degli elementi, l'idrogeno evitava inoltre le imbarazzanti complicazioni che altre sostanze (come la birra) potevano causare durante gli urti tra le particelle. Nel giro di pochissimo tempo, la nuova e migliorata camera a bolle fornì una tale messe di nuovi dati che già nel 1960 Glaser comparve tra i quindici «uomini dell'anno» sulla copertina di «Time», accanto a Linus Pauling, William Shockley ed Emilio Segrè. Vinse anche il Nobel alla scandalosamente tenera età di trentaquattro anni. Per la cerimonia di Stoccolma, Glaser, che nel frattempo si era trasferito a Berkeley, prese in prestito il gilè bianco già indossato dai premi Nobel Edwin McMillan ed Emilio Segrè.

Di solito non si pensa alle bolle come a un fondamentale strumento di ricerca. Si trovano ovunque in natura e sono facili da produrre, eppure (o forse proprio per questo) per secoli furono considerate alla stregua di semplici giocattoli che nessuno voleva studiare sul serio. Ma quando agli inizi del Novecento la fisica si impose come scienza dominante, i fisici trovarono loro, improvvisamente, un sacco di impieghi nello studio delle strutture più fondamentali dell'universo. Ai giorni nostri è invece la biologia, scienza vincente, a utilizzarle per studiare lo sviluppo delle cellule, cioè delle forme più complicate di materia. Le bolle si sono dimostrate

un eccellente laboratorio naturale in vari campi, tanto che la storia recente della scienza si può leggere in parallelo con lo sviluppo dello studio di queste «sfere di splendore».

Un elemento che forma facilmente bolle e schiume (che sono aggregati di bolle sovrapposte e fuse insieme, di forma non più sferica) è il calcio. Le cellule sono per i tessuti quello che le bolle sono per le schiume, e il miglior esempio di una struttura «schiumosa» in un organismo (a parte la saliva) è il tessuto osseo spugnoso. In genere pensiamo alle schiume come a sostanze molli e poco resistenti, tipo la crema da barba, ma in certi casi questi miscugli di aria e altri elementi si induriscono e si irrigidiscono, come versioni solide della schiuma da bagno. La NASA, per esempio, ha usato materiali schiumosi per costruire il rivestimento protettivo degli shuttle; le ossa, che sono in pratica schiume a base di calcio, sono allo stesso tempo leggere e robuste. Per millenni l'uomo ha scolpito statue, innalzato obelischi e scalpellato iscrizioni su lapidi utilizzando minerali di calcio, materiali facilmente lavorabili e resistenti come il marmo e le rocce calcaree. Queste rocce si formano a partire dagli esoscheletri di piccole creature marine morte, che si accumulano sul fondo del mare per milioni di anni. Simili a ossa, queste specie di conchiglie sono porose eppure robuste, grazie alle peculiarità chimiche del calcio. L'acqua piovana, e in genere l'acqua in natura, è leggermente acida, mentre i minerali di calcio sono leggermente basici. Quando l'acqua si infiltra nei pori della calcite, si avvia una specie di reazione vulcanica in miniatura che rilascia anidride carbonica e «ammorbidisce» il minerale. A larga scala e in tempi geologici, reazioni di questo tipo creano le grandi cavità naturali che oggi possiamo ammirare.

Al di là dell'anatomia e dell'arte, le bolle di calcio hanno plasmato l'economia e gli imperi mondiali. Le numerose grotte che punteggiano la costa meridionale dell'Inghilterra, costituita da rocce calcaree, non sono naturali ma nascono come antiche cave verso il 55 a.C. con l'arrivo dei Romani, che facevano largo uso di materiali calcarei come il travertino. Gli emissari di Giulio Cesare trovarono una elegante pietra calcarea color crema nei pressi dell'attuale cittadina di Beer, nel Devon, e cominciarono a scavare e a

ricavare materiale per decorare le facciate dei palazzi. Con la pietra di Beer, in seguito, furono costruiti pezzi di Buckingham Palace, della Torre di Londra e dell'abbazia di Westminster. Tutta questa attività estrattiva lasciò il segno, sotto forma di enormi caverne che si aprivano sulle coste scoscese. All'inizio dell'Ottocento, alcuni intraprendenti marinai del luogo, che magari da ragazzini avevano giocato in quei labirinti, decisero di trasformare un passatempo in attività redditizia e si diedero al contrabbando: le cave erano il posto ideale per nascondere merci di provenienza francese, come liquori, tabacco, seta e strumenti musicali, che andavano a prendere in Normandia su veloci velieri.

Ai contrabbandieri (che si consideravano piuttosto «fautori del libero scambio») il lavoro non mancava, perché l'Inghilterra, in guerra contro Napoleone, aveva imposto dazi insostenibili sulle merci francesi. La scarsità di certi prodotti sul mercato creò inevitabilmente un forte aumento della domanda, e una bolla speculativa sui prezzi. Visto che la Marina di Sua Maestà, pur impegnata in costose operazioni di contrasto, non riusciva a stroncare i traffici illeciti, il governo si convinse pian piano ad abolire i dazi. Attorno al 1840 il commercio fu liberalizzato, e questa mossa portò nel giro di pochi anni a un assai maggior benessere, il che tra l'altro permise alla Gran Bretagna di conquistare un impero su cui non tramontava mai il sole.

Visto tutto il contesto storico, ci si potrebbe aspettare che la scienza delle bolle abbia una lunga tradizione. Ma non è così. Tra i pochi che vi si applicarono, però, sono da annoverare menti di prim'ordine come Benjamin Franklin (che scoprì il potere dell'olio di calmare le acque agitate) e Robert Boyle (che fece esperimenti sulla sua orina schiumosa appena prodotta nel vaso da notte, arrivando anche ad assaggiarla). E i primi fisiologi giunsero al punto di iniettare gas nel circolo sanguigno di cani vivisezionati per studiare l'effetto della formazione di bolle. Ma in generale gli scienziati ignoravano le bolle *tout court*, ritenendo che lo studio della loro forma e struttura fosse compito di discipline intellettualmente inferiori, «scienze intuitive» per così dire. Queste non avevano nulla a che vedere con la ciarlataneria, ma erano semplicemente campi che studiavano

fenomeni naturali fidandosi più della pratica e della tradizione che del metodo scientifico, come l'allevamento dei purosangue o il giardinaggio. La scienza intuitiva che si impadronì della ricerca sulle bolle fu l'arte culinaria. Da secoli per fare il pane e la birra si usano i lieviti, che non sono altro che macchine naturali per la produzione di bollicine. Nel Settecento i grandi chef europei impararono a insufflare bollicine d'aria nei bianchi d'uovo per produrre schiume vaporose e si misero a fare esperimenti con meringhe, formaggi porosi («con i buchi»), panne montate e i cappuccini che oggi ci piacciono tanto.

Tra cuochi e chimici non correvano certo rapporti di fiducia, visto che gli uni consideravano gli altri, rispettivamente, gente noiosa incapace di godere dei piaceri della vita o pasticcioni indisciplinati. La scienza delle bolle divenne rispettabile solo attorno al 1900, grazie a due grandi uomini, Ernest Rutherford e Lord Kelvin, che però ci si erano applicati di straforo e non avevano idea delle conseguenze delle loro ricerche. Rutherford, in particolare, era molto più interessato a esplorare le regioni all'epoca più misteriose e inaccessibili della tavola periodica.

Nel 1895 si trasferì dalla natia Nuova Zelanda all'Università di Cambridge e si mise subito a lavorare sul tema caldo del periodo, l'equivalente della genetica o delle nanotecnologie di oggi: la radioattività. Rutherford era un tipo vigoroso e pratico, pronto a sporcarsi le mani e dunque naturalmente portato per la fisica sperimentale. Era nato e cresciuto in campagna, abituato a cacciare e a raccogliere patate; tra gli illustri togati di Cambridge si sentiva, per citare le sue parole, «un asino travestito da leone». In effetti un omone con i baffi a manubrio che teneva in tasca campioni di materiale radioattivo e fumava sigari pestilenziali, doveva sembrare davvero fuori posto in quell'ambiente. Quando i suoi strumenti non funzionavano a dovere, li mandava al diavolo alternando terribili imprecazioni a strani eufemismi (forse cercava di non bestemmiare per rispetto verso la moglie, una cristiana praticante). Si aggirava per il laboratorio poco illuminato e cantava, a voce alta e senza azzeccare una nota, l'inno religioso *Onward, Christian Soldiers* – forse per espiare le sue intemperanze. Ma Rutherford non

era un orco, anzi: il suo stile di ricerca era proprio improntato all'eleganza. Nessuno, forse in tutta la storia della scienza, era più bravo di lui a sviscerare i segreti della natura con l'aiuto di qualche strumento. Vediamo ad esempio con quale abilità risolse un mistero chimico, cioè la trasmutazione di un elemento in un altro.

Dopo qualche anno Rutherford si trasferì a Montreal e iniziò a studiare il fenomeno della contaminazione dell'aria da parte delle sostanze radioattive. Come punto di partenza prese le ricerche di Marie Curie, ma quel campagnolo neozelandese si dimostrò più astuto della sua celebre collega. Secondo la teoria prevalente all'epoca, gli elementi radioattivi emettevano una sorta di gas che era «pura radiazione», in grado di diffondersi ovunque come la luce di una lampadina. Rutherford aveva il sospetto che questo gas fosse in realtà un elemento inedito e sconosciuto, a sua volta radioattivo. Seguendo questa ipotesi, non si mise a raffinare tonnellate di pechblenda, nera e fumante dentro i calderoni, per ottenere minuscole quantità di radio e polonio, come aveva fatto Marie Curie. Si limitò a inserire un campione di materiale radioattivo sotto un contenitore di vetro capovolto, per catturare le eventuali bolle di gas, e lasciò fare alla natura: in poco tempo ottenne tutto il materiale che voleva. Con l'aiuto del suo collaboratore Frederick Soddy, dimostrò subito che il gas raccolto era in realtà un nuovo elemento, il radon. E poiché il campione di partenza era proporzionalmente diminuito di peso, concluse che alcuni atomi dell'uno si erano tramutati in atomi dell'altro.

Rutherford e Soddy non solo scoprirono un nuovo elemento, ma anche nuove modalità per saltare da una casella all'altra della tavola periodica. Di colpo, ci si accorse che gli elementi potevano decadere e trasformarsi nei loro vicini situati sulla stessa riga, magari saltando anche qualche posto. Era un'idea fantastica, nonché blasfema. Dopo secoli la scienza era riuscita a screditare e scomunicare gli alchimisti che sostenevano di poter tramutare il piombo in oro, ed ecco che per colpa di quei due le porte dell'inferno si riaprivano. Quando Soddy si rese davvero conto di quel che stava succedendo, gridò al collega: «Rutherford, questa è una trasmutazione!».

L'altro si sentì morire. «Per l'amor d'Iddio, Soddy,» disse col suo vocione «non si faccia sentire in giro! Ci manderanno al rogo come alchimisti!».

Il radon rese possibili altre straordinarie e inquietanti scoperte. Rutherford aveva assegnato in modo arbitrario il nome «alfa» alle particelle emesse dagli atomi radioattivi (e aveva anche scoperto le beta). Vista la differenza di massa tra le successive generazioni di elementi coinvolti nel decadimento, aveva intuito che le particelle alfa erano in realtà nuclei di elio, che si staccavano dagli atomi più grossi e se ne andavano via, come bollicine in un liquido. Se fosse riuscito a dimostrarlo, avrebbe provato che gli elementi non solo potevano saltare una casella della tavola periodica nel decadimento, ma anche compiere mosse più complicate, spostandosi a destra e a manca come in una partita a scacchi senza regole.

Per il suo esperimento, Rutherford chiese ai mastri vetrai che lavoravano per il laboratorio di produrre due tubi, uno dalle pareti sottilissime come una bolla di sapone, l'altro più grande e robusto. Riempì di radon il primo contenitore e infilò il tutto nel secondo. Le particelle alfa emesse avevano energia sufficiente per trapassare il vetro del primo tubo ma non del secondo, dunque rimanevano intrappolate nello spazio vuoto tra i due. Dopo qualche giorno, sembrava che nulla fosse accaduto e che le incolori particelle stessero lì senza combinare nulla. Ma a quel punto Rutherford fece passare una corrente in quella zona. Se avete mai visto New York o Tokio di notte, illuminate da mille luci al neon, potete intuire cosa accadde. Come tutti i gas nobili, l'elio diventa luminescente in presenza di elettricità; e come previsto, lo spazio tra i due tubi si accese con i caratteristici bagliori verdi e gialli. Rutherford aveva dimostrato che le particelle alfa erano davvero nuclei di elio grazie a un antesignano delle luci al neon. Era un perfetto esempio della sua eleganza sperimentale, nonché del suo amore per i risultati eclatanti.

Con il suo tipico senso per lo spettacolo, Rutherford annunciò al mondo questa scoperta durante il suo discorso di accettazione del Nobel 1908. (Oltre a vincere il premio in prima persona, fu maestro e mentore di undici futuri pre-

miati, l'ultimo dei quali nel 1978, più di quarant'anni dopo la sua morte. Fu un impressionante esempio di prolificità intellettuale, degna di Gengis Khan – che si dice avesse avuto centinaia di figli). Il pubblico ne fu ammaliato. Molti di quelli presenti a Stoccolma, però, non intuirono le più immediate e pratiche applicazioni del lavoro di Rutherford, che invece, da espertissimo sperimentatore qual era, sapeva bene che le ricerche davvero significative non si limitavano a dimostrare o confutare una teoria, ma erano generatrici di nuovi esperimenti. Le particelle alfa, in particolare, gli permisero di toccare un tasto dolente circa l'antica disputa teologico-scientifica relativa all'età della Terra.

La prima ipotesi frutto di un ragionamento (più o meno) rigoroso risale al 1650, anno in cui James Ussher, arcivescovo anglicano d'Irlanda, esaminò i «dati» contenuti nelle genealogie bibliche («... e Serug visse trent'anni e generò Nahor... e Nahor visse ventinove anni e generò Terah...» e così via). Secondo i suoi calcoli, Dio si era deciso a creare la Terra il 23 ottobre del 4004 a.C. Era il miglior risultato ottenibile con quelle risibili prove, ma era del tutto insensato; bastarono pochi decenni perché la scienza dimostrasse che la data doveva essere molto anticipata. Grazie alla termodinamica, a un certo punto i fisici furono in grado di tradurre le loro ipotesi in numeri abbastanza precisi. Proprio come una tazza di caffè in frigo, il nostro pianeta cede calore allo spazio che lo circonda, assai più freddo. Misurando la velocità con cui la temperatura scende ed estrapolando, è possibile in teoria risalire al momento in cui la Terra era fatta esclusivamente di rocce fuse. Uno dei più grandi scienziati dell'Ottocento, William Thomson, meglio noto come Lord Kelvin, passò lunghi anni a ragionare sul problema, e verso la fine del secolo annunciò che secondo i suoi calcoli il nostro pianeta aveva venti milioni di anni.

Era il trionfo della speculazione teorica, ma il margine d'errore era colossale quasi quanto quello della sparata di Ussher. Negli anni a cavallo dei due secoli, Rutherford e altri colleghi si accorsero che, sebbene la fisica fosse diventata la scienza più prestigiosa e vincente (uno dei suoi modi di dire preferiti era: «la fisica è l'*unica* scienza vera, tutto il resto è

come la filatelia» – ma dovette rimangiarselo nel 1908 quando vinse il Nobel per la chimica), in questo caso non bastava. Darwin aveva avanzato un'obiezione sensata: venti milioni di anni era un tempo troppo breve perché l'evoluzione portasse dagli stupidi batteri agli esseri umani. Lo stesso affermavano i geologi, che basandosi sulle idee dello scozzese James Hutton affermavano che in un lasso di tempo così limitato non avrebbero potuto formarsi le catene montuose e le valli. Nessuno però riusciva ad attaccare sul suo terreno il complicato calcolo di Lord Kelvin, fino a quando Rutherford non si mise a cercare le bolle di elio nell'uranio.

All'interno di certi minerali, gli atomi di uranio emettono particelle alfa (che hanno due protoni) e si trasformano nell'elemento 90, il torio. Il torio genera il radio, sputando fuori un'altra particella alfa. Con lo stesso meccanismo, il radio genera il radon, che genera il polonio, che genera il piombo, che è stabile. Questo decadimento era già noto allora. Ma con un colpo di genio simile a quello di Glaser, Rutherford capì che tutte quelle particelle alfa dovevano formare delle bollicine, piccole sacche di elio all'interno del minerale. Il punto chiave del ragionamento è che l'elio non reagisce con gli altri elementi, né viene attratto o respinto, dunque non dovrebbe mai trovarsi dentro una roccia – al contrario dell'anidride carbonica nelle rocce calcaree, prodotta da una reazione. Dunque, tutto l'elio che si trova intrappolato nei minerali ha origine da un decadimento radioattivo: più ce n'è, più la roccia è antica.

Nel 1904 Rutherford, che si era dedicato per un po' di tempo a queste ricerche, aveva trentatré anni e Lord Kelvin ottanta. Nonostante la sua importanza nella storia della scienza, a quell'età non era più lucido. Ben lontani erano i giorni delle sue ardite speculazioni, come quella per cui gli elementi chimici erano fondamentalmente «nodi nell'etere» di forme diverse. Tra l'altro non riusciva proprio a far entrare nella sua visione scientifica del mondo la radioattività, fenomeno per lui inquietante e spaventoso (per convincerlo del contrario un giorno Marie Curie lo trascinò in uno sgabuzzino buio per mostrargli i bagliori degli elementi radioattivi e fargli vedere come

stavano le cose). Invece Rutherford aveva capito che la radioattività degli elementi presenti nella crosta terrestre era in grado di produrre calore e di demolire completamente le teorie del grande vecchio sulla dispersione termica nello spazio.

Smanioso di comunicare ai colleghi la sua idea, Rutherford organizzò un seminario a Cambridge. Kelvin però, per quanto fosse rimbambito, era pur sempre un potente barone, e ridicolizzare uno dei risultati di cui il vecchio scienziato andava più fiero avrebbe potuto nuocere alla carriera del più giovane. Rutherford iniziò a parlare con la massima prudenza, ma fortuna volle che nel giro di pochi minuti Kelvin, seduto in prima fila, si addormentasse. Per sfruttare l'occasione cercò di affrettarsi nell'esporre le sue tesi, ma proprio quando stava per sferrare il colpo di grazia il grande vecchio si svegliò, mostrandosi tutto pimpante.

Intrappolato in cattedra, Rutherford si ricordò di punto in bianco di una frase che aveva letto nel lavoro originale di Lord Kelvin. Con la tipica prudenza scientifica, si diceva che i calcoli sull'età della Terra dovevano considerarsi corretti «a meno che si scoprisse una fonte supplementare di calore» interna al pianeta. Rutherford la ripeté in pubblico, fece notare che la radioattività avrebbe potuto svolgere il ruolo di quella fonte supplementare e con un diabolico rovesciamento di campo concluse che Kelvin aveva dunque predetto l'esistenza dei fenomeni radioattivi molti anni prima. Che genio! Il grande vecchio si guardava intorno raggianti. Certo, quel giovane stava dicendo un sacco di sciocchezze, ma di sicuro non voleva perdersi l'opportunità di godersi l'omaggio.

Rutherford tenne un basso profilo fino alla morte di Lord Kelvin, nel 1907, poi dimostrò in un battibaleno la relazione tra elio e uranio. E visto che non c'era più il grande barone a fermarlo (lo era diventato lui stesso – e molti anni dopo sarebbe arrivata anche l'incoronazione definitiva con l'intitolazione di un elemento della tavola periodica, il 104, battezzato rutherfordio), il futuro Lord Rutherford prese una roccia ricca di minerali di uranio che si supponeva fosse antica, riuscì a raccogliere l'elio dalle microscopiche bolle presenti al suo interno e concluse che la Terra aveva almeno cinquecento mi-

lioni di anni. Era un'età venticinque volte maggiore di quella calcolata da Lord Kelvin, ed era la prima a differire da quella corretta per un fattore dieci. Nel giro di pochi anni, l'esperimento fu rifatto da geologi più esperti di Rutherford nel far parlare le rocce, che stabilirono che la Terra doveva avere almeno due miliardi di anni. Era sempre un numero sbagliato, il valore vero è il doppio, ma è da sottolineare come l'uomo si sia reso conto della sbalorditiva vecchiaia del cosmo a partire da minuscole bollicine inerti intrappolate in certe rocce radioattive.

Dopo Rutherford, la ricerca di bolle intrappolate nelle rocce è diventata una pratica normale in geologia. Particolarmente fruttuoso è l'utilizzo dello zirconio, minerale a base di zirconio, imitazione di pietra preziosa protagonista di storie strazianti al banco dei pegni.

Per ragioni chimiche gli zirconi sono molto duri; dopo tutto lo zirconio sta sotto al titanio nella tavola periodica ed è un convincente sostituto del diamante per buoni motivi. Contrariamente ai materiali teneri come i calcari, molti zirconi sono passati indenni attraverso le ere terrestri e oggi si presentano come granelli duri all'interno di altre rocce, simili a semi di sesamo dentro il pane. Per via delle loro particolari proprietà chimiche, durante la formazione nel remoto passato i cristalli di zirconio hanno risucchiato piccole quantità di uranio libero e l'hanno inglobato sotto forma di bolle microscopiche. Allo stesso tempo si sono liberati di eventuali incrostazioni di piombo, elemento che lo zirconio sembra avere in odio (proprio il contrario di ciò che accade alle meteoriti). Ovviamente questa configurazione non è durata a lungo, perché l'uranio decade in piombo, che in questa fase lo zirconio non riesce a espellere. Dunque tutto il piombo oggi inglobato in questi cristalli deve essere il prodotto del decadimento dell'uranio. Ormai avrete capito come funzionano le cose: misurando la proporzione tra uranio e piombo all'interno degli zirconi basta fare un'extrapolazione per calcolare l'età del cristallo. Quando sentite annunciare la scoperta dell'ultima «roccia più vecchia del mondo» (in genere in Australia o Groenlandia),

state pur certi che la datazione è stata eseguita con il metodo zirconio-uranio.

Altre discipline hanno adottato modelli a bolle come paradigma. Mentre Glaser metteva a punto la sua camera a bolle negli anni Cinquanta, fisici teorici come John Archibald Wheeler iniziavano a ipotizzare che l'universo fosse costituito al livello più fondamentale da una specie di «schiuma». Scendendo a scale miliardi di miliardi di volte inferiori a quelle atomiche, secondo Wheeler avremmo visto «lo spaziotempo cristallino e ordinato, fatto di atomi e particelle,... cedere il posto a un mondo dove, letteralmente, non ha più senso parlare di prima o dopo, destra o sinistra. La nozione comune di lunghezza perde di significato, così come il concetto ordinario di tempo. Per questo stato non trovo nome migliore di "schiuma quantistica"». Oggi alcuni modelli cosmologici sostengono che il nostro universo abbia iniziato a esistere quando una bollicina indicibilmente piccola sfuggì a quella schiuma e iniziò a espandersi a velocità esponenziale. È una teoria elegante in grado di spiegare molte cose, tranne purtroppo la ragione per cui ciò è accaduto.

Paradossalmente, il modello della schiuma quantistica di Wheeler affonda le sue radici nelle idee di un campione della fisica classica, il re della tradizione: Lord Kelvin. Kelvin non fu il primo a occuparsi sistematicamente di bolle e schiume, perché l'onore spetta a uno scienziato belga cieco dal nome non bene augurante di Joseph Plateau (e in effetti il suo lavoro fu in gran parte ignorato). Il grande fisico britannico contribuì però a rendere nota la disciplina presso un pubblico più vasto; come amava dire, avrebbe potuto passare la vita intera a osservare una sola bolla di sapone. Era un'iperbole, perché dall'esame dei suoi taccuini di lavoro risulta che Kelvin impostò il nucleo centrale della sua teoria mentre bighellonava a letto una mattina. All'argomento dedicò solo un breve articolo in tutta la carriera. Eppure era edificante immaginare questo barbuto signore vittoriano che faceva le bolle in bacinelle piene di acqua e glicerina. Usava per i suoi esperimenti un agitatore meccanico simile a un mestolo con una molla in cima e produceva bolle *cubiche*, perché la molla era fatta di prismi rettangolari.

Il suo lavoro acquistò importanza grazie alle ricerche che stimolò nelle generazioni successive. Il biologo D'Arcy Wentworth Thompson applicò le formule di Kelvin sulla formazione di bolle alla teoria dello sviluppo cellulare, arrivando alle ipotesi raccolte nel suo fondamentale saggio del 1917 *Crescita e forma* – libro che è stato definito «il più alto esempio di letteratura scientifica mai apparso in lingua inglese». Si può dire che la moderna biologia cellulare nacque in quel momento. Inoltre, alcune recenti ricerche in biochimica fanno supporre che le bolle possano esser state la causa efficiente dell'origine della vita. Le prime molecole organiche complesse forse non sono apparse nei turbolenti oceani, come sostiene la teoria più comune, ma all'interno di bolle d'acqua liquida intrappolata dentro strati di ghiaccio simili alle banchise polari. Quando l'acqua gela, tende a far concentrare in bolle le impurità di varia natura (comprese le molecole organiche) che vi sono disciolte. La densità e la pressione all'interno di queste sacche possono esser state sufficienti a far unire varie molecole e dar vita ai primi sistemi in grado di autoreplicarsi. La natura, poi, deve essersi accorta che il modello funzionava, perché l'ha ripetuto in varie occasioni. Indipendentemente dalla loro origine, nei mari o nei ghiacci, le prime rozze cellule erano sicuramente strutturate simili a bolle che circondavano le proteine o le molecole di DNA o RNA, proteggendole dagli agenti esterni e impedendo che fossero spazzate via dall'acqua. Ancora oggi, dopo quattro miliardi di anni, le cellule sono in fondo in fondo delle bolle.

Le ricerche di Lord Kelvin ebbero ricadute anche sulla scienza bellica. Durante la prima guerra mondiale un altro Pari del Regno, Lord Rayleigh, fu incaricato di risolvere un problema urgente: come mai le eliche dei sottomarini erano così fragili e si rovinavano molto prima dello scafo. Risultò che la colpa era delle bolle prodotte dal moto delle pale, che venivano risucchiate e colpivano il metallo come lo zucchero attacca lo smalto dei denti, con analoghi esiti corrosivi. Lo studio dei sottomarini portò a un'altra importante scoperta nel campo delle bolle, anche se in questo caso i risultati della ricerca sembrarono in un primo tempo scoraggianti. Con la memoria ancora fresca degli U-boot tedeschi, negli anni

Trenta lo studio del sonar, cioè del riconoscimento delle onde sonore in acqua, era diventato molto di moda, quasi quanto la radioattività qualche anno prima. Almeno due gruppi di ricercatori scoprirono che agitando un contenitore sottoposto a fortissimi rumori, al livello di un jet in partenza, a volte le bolle sparivano emettendo un bagliore luminoso, blu o verde. (Per farvene un'idea, provate a mordere delle caramelle Polo alla menta in una stanza buia). All'epoca l'interesse era concentrato soprattutto sui modi per far saltare in aria i sottomarini, e il fenomeno della «sonoluminescenza», come venne chiamato, non fu studiato più a fondo. Per cinquant'anni rimase una sorta di trucco da salotto, che i fisici si trasmettevano di generazione in generazione.

E lo sarebbe rimasto a lungo se verso la metà degli anni Ottanta un collega non avesse sfidato Seth Putterman. Costui era un ricercatore all'Università della California a Los Angeles, dove si occupava di fluidodinamica – un campo diabolicamente complicato. In un certo senso, gli scienziati ne sanno più sulle lontane galassie che sul moto turbolento dell'acqua che prorompe da un tubo di scarico. A questa ignoranza alludeva il collega di Putterman, quando gli disse che quelli come lui non sapevano nemmeno spiegare perché le onde sonore possono trasformare le bolle in luce. Putterman pensò in un primo tempo che si trattasse di una leggenda metropolitana, ma dopo aver esaminato le poche ricerche disponibili in materia di sonoluminescenza si decise ad abbandonare quel che stava studiando per dedicarsi a tempo pieno alle bolle lampeggianti.¹

Il suo primo esperimento era a bassa tecnologia, in modo quasi commovente. Mise un contenitore pieno d'acqua tra due casse stereo e fece partire suoni a frequenze altissime, non udibili dall'orecchio umano. All'interno del contenitore una resistenza presa da un tostapane scaldava l'acqua e creava bolle, che venivano catturate e portate in giro dalle onde sonore. Ora viene il bello. Le onde hanno punti di massima intensità, le creste, e di minima intensità, i ventri. Quando si trovavano in corrispondenza di un ventre, quelle bollicine si gonfiavano fino a migliaia di volte le dimensioni originarie, come un palloncino che all'improvviso

riempie una stanza. Poi arrivava la cresta dell'onda e le bolle collassavano fino a rimpicciolirsi mezzo milione di volte, sotto l'effetto di una forza cento miliardi di volte più intensa della gravità. È a causa di questa specie di supernova che si produce quella luce quasi incantata. Il fatto più incredibile è che la bolla, pur ridotta a dimensioni di una «singolarità», termine riservato solitamente allo studio dei buchi neri, non si distrugge. Quando la cresta dell'onda passa, ritorna a espandersi come se nulla fosse. E poi si ricomincia, con un processo che si ripete migliaia di volte al secondo.

Putterman si mise poi al lavoro con strumenti più raffinati di quello stereo casalingo, e dovette fare qualche passeggiata sulla tavola periodica. Per capire quale fosse il meccanismo preciso della luminescenza, sperimentò vari gas da insufflare nel liquido. Le bolle di aria normali producevano piacevoli scintille blu e verdi, mentre quelle di ossigeno o azoto puro, elementi che costituiscono il 99 per cento dell'atmosfera, non si illuminavano, nonostante tutti i tentativi di alzare il volume o la frequenza sonora. Perplesso, Putterman iniziò a provare con gas meno comuni, fino a quando non trovò la pietra di paragone: l'argo.

Era un risultato davvero strano, visto che si tratta di un gas inerte. E in generale gli unici che avevano effetto, come Putterman e un crescente numero di colleghi dimostrarono, erano i suoi cugini più pesanti, kripto e soprattutto xeno. Le bolle di questi due gas, se bombardate con onde sonore, si incendiavano in modo ancora più brillante dell'argo, producendo «fuochi d'artificio in barattolo» che portavano l'acqua a quasi ventimila gradi – più della superficie del Sole. Era un altro risultato di difficile spiegazione. Xeno e kripto si usano a volte per spegnere incendi o far cessare reazioni non volute, dunque non c'era motivo per credere che questi gas inerti e poco reattivi potessero generare bollori così intensi.

A meno che la loro inerzia si trasformi in un vantaggio. Le molecole di ossigeno, di anidride carbonica e degli altri gas presenti nell'atmosfera usano l'energia fornita dalle onde sonore per dividersi e reagire tra loro, il che è uno spreco dal punto di vista della sonoluminescenza. Secondo alcuni studiosi, i gas

inerti sottoposti ad alte pressioni non hanno scelta: devono accumulare in gran quantità l'energia sonora. E poiché non hanno modo di liberarsene dissipandola, le bolle non possono far altro che collassare e gonfiarsi, concentrando l'energia nel loro centro. Se questa spiegazione è corretta, la non reattività dei gas nobili è la chiave per capire il fenomeno della sonoluminescenza. A ogni modo le ricerche in questo campo ci stanno facendo ripensare profondamente all'idea stessa di gas inerte.

Purtroppo, tentati dall'opportunità di imbrigliare tutta questa enorme energia, alcuni scienziati (compreso Putterman) hanno associato questa fragile scienza delle bolle alla fusione nucleare a scala mini o «da tavolo» (*desktop fusion* in inglese), cugina di quel campione di scienza patologica che è la fusione fredda. (La fusione nucleare da tavolo, per via delle temperature implicate, è tutt'altro che fredda). Da tempo si pensa a un vago collegamento tra bolle e fusione, in parte a causa dell'influenza di Boris Deryagin, autorevole fisico sovietico esperto di stabilità delle schiume, nonché paladino della fusione fredda. (Una volta Deryagin ha provato a innescare la fusione sparando a un contenitore pieno d'acqua con un kalashnikov – un'idea totalmente ridicola che sembra l'esatto opposto dell'eleganza sperimentale di un Rutherford).

Il precario legame tra sonoluminescenza e fusione («sonofusione») fu messo in luce quando, nel 2002, la rivista «Science» pubblicò un discutibile articolo sull'energia nucleare alimentata a sonoluminescenza. Fatto del tutto inusuale, il direttore della rivista ritenne opportuno pubblicare un commento editoriale in cui avvertiva che molti specialisti avevano trovato l'articolo poco convincente, addirittura al limite della frode; anche Putterman si era espresso a sfavore. «Science» lo pubblicò comunque (probabilmente, contando sul fatto che tutti ne avrebbero acquistata una copia per capire la ragione del trambusto). In seguito l'autore principale dell'articolo fu trascinato davanti a una commissione parlamentare per aver truccato i dati.

Per fortuna la scienza delle bolle ha mostrato di avere fondamenta abbastanza solide per continuare dopo questa pessima figura.² I fisici che si occupano di energie alterna-

tive usano modelli dei superconduttori basati sulle bolle. I medici parlano dell'HIV come di un virus «schiumoso», perché fa gonfiare e distrugge le cellule infettate. In natura esistono insetti che usano le bolle d'aria come scafandri da palombaro, per respirare sott'acqua; anche i riflessi metallici sulla coda dei pavoni sono prodotti da tante bollicine nascoste tra le piume. E finalmente nel 2008 – cosa della massima importanza in campo alimentare – un gruppo di studenti dell'Appalachian State University ha capito perché la Coca Light si tramuta in un geyser a contatto con le caramelle Mentos: per via delle bolle. La superficie porosa delle caramelle agisce come una rete e cattura le bollicine disciolte nella Coca, che si uniscono a formare bolle sempre più grandi. A un certo punto qualche bolla gigante si stacca dalla caramella e con gran velocità guadagna la superficie del liquido, spruzzando fuori con un magnifico sbuffo alto fino a sei metri. Questa scoperta è stata senza dubbio il momento più importante per la scienza delle bolle da quando, mezzo secolo prima, Donald Glaser scrutava la sua birra chiara e sognava di sovvertire la tavola periodica.

STRUMENTI DI UNA PRECISIONE ASSURDA

⁷⁸ Pt 195.085	³⁶ Kr 83.798	⁵⁵ Cs 132.905	⁹² U 238.029	⁶² Sm 150.362	²⁴ Cr 51.996	¹⁰⁰ Fm (257)	¹² Mg 24.305
--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Pensate al professore di scienze più pignolo che abbiate mai avuto. Quello che vi abbassava il voto per un errore di arrotondamento alla sesta cifra decimale, quello che, con la sua cravatta col motivo della tavola periodica perfettamente annodata, correggeva chiunque dicesse «peso» per «massa», e che imponeva a tutti di indossare protezioni anche solo per mescolare una soluzione di acqua e zucchero. Cercate ora di immaginare un individuo talmente fissato sui dettagli, il classico «ritentivo anale», da riuscire odioso persino al vostro professore. Ecco, questo è il genere di persone che lavorano in un istituto di metrologia.

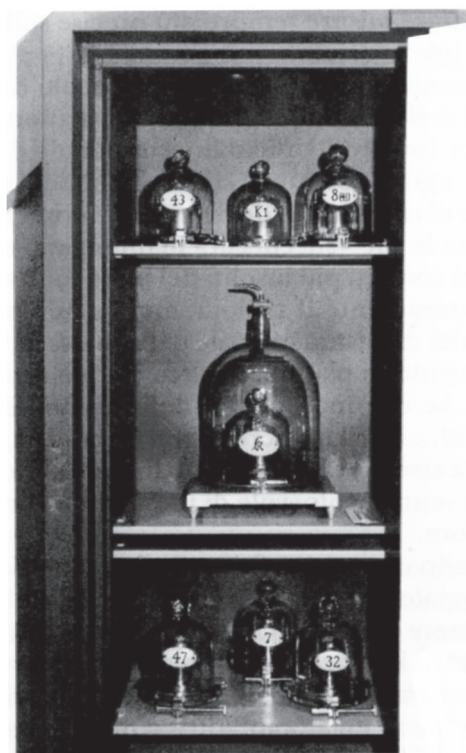
Molte nazioni hanno un organismo di standardizzazione, il cui compito è misurare assolutamente tutto, dalla durata del secondo alla quantità di mercurio che può essere assorbito senza rischi nel fegato dei bovini (una quantità infima, secondo i dettami del National Institute of Standards and Technology americano). Per gli specialisti che lavorano in queste istituzioni, la misura non è semplicemente una pratica che rende possibile la scienza, ma è la scienza stessa. Nelle discipline più disparate, dalla cosmologia post-einsteiniana alla ricerca della vita su altri pianeti, i progressi dipendono in modo essenziale dalla nostra capacità di rea-

lizzare misure sempre più precise sulla base di scarsissime informazioni.

Per motivi storici (i francesi del secolo dei Lumi erano fanatici delle misure), il Bureau International des Poids et Mesures (ovvero l'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure, siglato con BIPM) si trova in un sobborgo di Parigi. È l'ente di riferimento degli enti di riferimento e controlla che tutte le sue «succursali» mantengano certi standard. Uno dei compiti più insoliti del BIPM consiste nel custodire amorosamente il chilogrammo campione – il *Grand Kilo*, unità di misura ufficiale della massa. È un cilindro, al 90 per cento in platino, di circa cinque centimetri di diametro, la cui massa, per definizione, è esattamente 1,000000... kg (il numero di zeri è grande a piacere, il che significa assenza di errore a qualunque cifra decimale). Se non mi sentissi colpevole di inesattezza, direi che fa circa due libbre.

Essendo un oggetto fisico, il campione rischia di essere danneggiato, ma poiché la definizione di chilogrammo deve rimanere costante, il BIPM deve assicurarsi che il cilindro non riporti il benché minimo graffio, che non attiri nemmeno un granello di polvere e che non perda mai (si spera) nemmeno un atomo. Altrimenti la massa potrebbe salire a 1,000000...1 kg o scendere a 0,999999...9 kg, e la sola eventualità fa venire l'ulcera ai funzionari degli istituti di metrologia. I quali, come madri ossessive, tengono sotto controllo costante la temperatura e la pressione della teca dove è conservato il campione, per prevenire dilatazioni e contrazioni microscopiche che potrebbero fargli cedere atomi. Per di più, esso è protetto da tre campane di vetro, l'una dentro l'altra, per evitare che si condensino umidità sulla superficie, lasciando una seppur microscopica pellicola acqua. Inoltre, il platino (come pure l'iridio) di cui è fatto il campione è un metallo molto denso, che minimizza la superficie esposta all'aria, quella inaccettabile porcheria che tutti noi respiriamo. Il platino è anche un buon conduttore, il che limita l'accumulazione di elettricità statica «parassita» (per citare letteralmente il BIPM) che potrebbe alterare il numero di atomi.

La durezza del platino, infine, riduce le possibilità di un



Il prototipo internazionale del chilogrammo, a Parigi, circondato dalle sei copie ufficiali, ciascuna sotto due campane di vetro (per gentile concessione del BIPM).

disastro epocale: il graffio di un'unghia nelle rare occasioni in cui un essere umano ha l'opportunità di mettere realmente le mani sul campione. Per evitare continui viaggi a Parigi ogni volta che hanno necessità di misurare qualcosa con precisione, gli altri Paesi devono avere il loro cilindro ufficiale da 1,000000... kg; ma poiché il *Grand Kilo* è lo standard, il solo, l'unico, le altre copie devono essere periodicamente confrontate con esso. Il chilogrammo ufficiale americano è siglato come K20 (è la ventesima copia ufficiale) ed è conservato in un edificio governativo in una cittadina del Maryland non lontana da Washington. È stato calibrato una sola volta dopo il 2000 e sta per esserlo tra poco, se-

condo le dichiarazioni di Zeina Jabbour, responsabile della sezione «massa e forza» del National Institute of Standards and Technology. La calibrazione è un processo che richiede parecchi mesi, e le nuove misure di sicurezza imposte a chi viaggia in aereo dopo il 2001 rendono il trasporto di K20 un vero incubo. «Dobbiamo portarlo con noi senza mai perderlo di vista,» dice Jabbour «ed è dura passare i controlli di sicurezza con un cilindro di metallo che nessuno può toccare». Basta solo aprire la valigetta speciale in cui viaggia il campione ed esporlo all'aria in un «aeroporto polveroso» per compromettere la procedura, «e se qualcuno insiste per toccarlo, addio calibrazione».

Di solito, il BIPM usa una delle sei copie ufficiali in suo possesso (ciascuna conservata sotto una doppia campana di vetro) per calibrare le riproduzioni. Ma le copie ufficiali devono essere a loro volta confrontate con l'originale; quindi ogni tre o quattro anni un gruppo di specialisti si incarica di prelevare il chilogrammo campione dalla sua cella (usando ovviamente pinze e guanti di lattice per non lasciare impronte – guanti speciali, non quelli col talco dentro, che lascerebbe un residuo –, e senza toccare il cilindro troppo a lungo, perché il calore corporeo del manipolatore potrebbe riscaldarlo e rovinare tutto) e di calibrare i calibratori.¹ Durante alcuni controlli eseguiti negli anni Novanta, i tecnici hanno riscontrato con preoccupazione che, anche tenendo conto degli atomi sfuggiti al campione a causa delle manipolazioni, il chilogrammo ufficiale ha perso una quantità di massa equivalente a quella di un'impronta digitale (*sic*), pari a mezzo microgrammo all'anno. Nessuno sa il perché.

Il non essere riusciti a mantenere il campione perfettamente stabile (perché, diciamocelo, è andata così) ha dato nuova vita a un vecchio sogno di tutti gli specialisti ossessionati da questo cilindro in platino-iridio: dichiararlo obsoleto. La scienza deve buona parte del suo progresso, a partire dalla rivoluzione scientifica del XVII secolo, all'adozione di un punto di vista il più possibile oggettivo, non antropocentrico, sull'universo. (È quello che viene chiamato principio copernicano o, nella sua variante meno lusinghiera,

«principio di mediocrità»). Il chilogrammo è una delle sette «unità di misura fondamentali» presenti in ogni dominio della scienza, e non è più ammissibile che una qualsiasi di queste unità prenda a campione un manufatto umano, specialmente se questo si rimpicciolisce misteriosamente.

Qualunque sia l'unità, l'obiettivo – secondo la spiritosa espressione dell'ufficio delle misure britannico – è arrivare a una definizione che uno scienziato possa spedire per posta elettronica a un collega dall'altra parte del mondo, e che questi possa riprodurre esattamente l'originale basandosi unicamente sulla descrizione fornita nel messaggio. Il chilogrammo di platino-iridio non viaggia per internet, e nessuno ha ancora trovato una definizione più affidabile di quel cilindretto tozzo e luccicante, coccolato a Parigi. (Ci sono stati alcuni tentativi, ma le soluzioni erano o troppo complicate per essere utili nella pratica – come per esempio la conta di miliardi di miliardi di atomi – o richiedevano una precisione strumentale troppo elevata anche per i migliori apparati a nostra disposizione). L'incapacità di risolvere l'impasse del chilogrammo campione, ossia di arrestarne la continua perdita di massa o di sostituirlo con qualcos'altro, è diventata fonte di crescente preoccupazione e imbarazzo a livello internazionale (almeno per gente maniaca come noi).

Il disappunto è ancora più grande se si pensa che il chilogrammo è l'ultima unità fondamentale ancora legata a limitazioni umane. Per la maggior parte del XX secolo il metro standard era la lunghezza tra due tacche su un campione di platino conservato anch'esso a Parigi, finché nel 1960 è stato ridefinito in modo più oggettivo: 1 650 763, 73 volte la lunghezza d'onda della luce rosso-arancione nello spettro di emissione dell'atomo di kripto 86. Questa misura è quasi identica a quella tradizionale, ma ha il vantaggio di rendere obsoleto il campione fisico, visto che dappertutto nel vuoto il numero di lunghezze d'onda del kripto coprirebbe la stessa distanza. (Ecco una definizione che uno potrebbe comunicare per mail). Da allora la metrologia, cioè la scienza della misurazione, ha cambiato ancora le carte in tavola: oggi un metro è uffì-

cialmente pari alla distanza percorsa dalla luce nel vuoto in 1/299 792 458 di secondo.

A sua volta, la definizione ufficiale del secondo è cambiata. Un tempo era circa 1/86 400 di una rotazione della Terra su sé stessa (dove 86 400 è il numero di secondi in un giorno). Ma c'era uno sgradevole inconveniente, dovuto al fatto che la durata di un giorno aumenta lentamente a causa del flusso e del riflusso delle maree oceaniche, che perturbano e rallentano la rotazione della Terra. Per correggere questa imprecisione si introduce un «secondo di compensazione» in media un anno su tre, quando nessuno ci fa caso, il 31 dicembre a mezzanotte. Ma questa soluzione ad hoc è poco elegante: l'unità di tempo deve essere universale e non legata alla rotazione di una palla rocciosa non troppo interessante in orbita attorno a una stella senza qualità. Dunque il National Bureau of Standards americano ha trovato una definizione alternativa basata sull'orologio atomico al cesio.

Un orologio atomico sfrutta i salti di livello energetico degli elettroni di cui abbiamo parlato in precedenza, oltre a una proprietà più complessa, la cosiddetta «struttura fine». Se un salto di livello ordinario è paragonabile, in campo musicale, al salto di una ottava da un sol a un altro, la struttura fine corrisponde al passaggio da sol a sol bemolle o da sol a sol diesis. Sono effetti che si notano soprattutto in presenza di campi magnetici e sono causati da fenomeni che possiamo tranquillamente ignorare, a meno di non dover dare un esame di fisica superiore (interazioni magnetiche tra protoni ed elettroni, effetti relativistici e così via). Comunque sia, grazie alla struttura fine, un elettrone può trovarsi a un livello leggermente inferiore (sol bemolle) o superiore (sol diesis) a quanto sarebbe lecito aspettarsi.²

La «scelta» del salto da parte dell'elettrone è autoconsistente, e quindi un elettrone non finisce mai sul diesis e sul bemolle in salti successivi: tutte le volte colpisce o l'uno o l'altro. All'interno di un orologio atomico, aggreggio simile a una collezione di tubi pneumatici lunghi e sottili, un magnete spazza via tutti gli atomi di cesio i cui elettroni esterni saltano a un livello che chiameremo, ad esempio, sol bemolle. Restano quindi solo

atomi di cesio i cui elettroni esterni saltano al livello sol diesis, che vengono convogliati in una camera apposita e sottoposti a un'intensa radiazione a microonde. Eccitati dalla radiazione, gli elettroni saltano di livello e poi ricadono sotto, emettendo fotoni. Questi cicli si ripetono sempre uguali e avvengono sempre nello stesso intervallo di tempo (davvero corto), quindi l'orologio atomico può limitarsi a contare i fotoni per sapere quante volte si è ripetuto il ciclo. Non ha importanza che la selezione a monte avvenga per il livello sol bemolle o sol diesis, ma è una fase che non si può eliminare: il salto ai due livelli richiede tempi leggermente diversi, e per gli standard metrologici questa imprecisione è inaccettabile.

Il cesio si è dimostrato adatto come molla principale degli orologi atomici perché ha un solo elettrone nel guscio più esterno, senza elettroni vicini a soffocarlo. Inoltre è un atomo grosso, pesante e lento, facile bersaglio per la fonte di radiazioni (un maser). Il concetto di lentezza a queste scale è ovviamente relativo: l'elettrone del cesio riesce a saltare su e giù per 9 192 631 770 volte al secondo. Tale valore è stato scelto proprio come definizione del secondo. Perché i metrologi non si sono fermati a 9 192 631 769 o non sono andati fino a 9 192 631 771? Perché nel 1955, anno in cui fu costruito il primo orologio atomico al cesio, quel valore coincideva con la loro migliore stima del secondo. Sia come sia, 9 192 631 770 è ormai fissato e ufficiale. Questa è stata la prima definizione di una unità fondamentale a poter venire comunicata universalmente per posta elettronica, e ha persino contribuito, dopo il 1960, a liberare il metro dalla schiavitù del campione di platino-iridio.

La definizione del secondo sulla base delle vibrazioni dell'atomo di cesio ha sostituito quella a base astronomica ed è stata adottata come standard internazionale negli anni Sessanta del secolo scorso. Se da una parte questa mossa ci ha fatto guadagnare in precisione e obiettività, dall'altra dobbiamo constatare che abbiamo indubbiamente perso qualcosa. Fin dall'antichità, prima ancora degli Egizi e dei Babilonesi, l'uomo si è rivolto al cielo, alle stelle e alle stagioni per misurare il tempo che passava e registrare gli eventi più importanti. Il cesio ha tagliato questo legame, proprio come l'illuminazione notturna

in città ha fatto sparire le costellazioni. È un elemento molto rispettabile, ma manca del fascino mitico di Sole e Luna. Inoltre, come vedremo ora, il periodo di vibrazione dei suoi elettroni potrebbe non avere quella caratteristica di universalità che ci ha spinto a utilizzarlo come standard.

Se c'è qualcosa di più profondo dell'amore dei matematici per le variabili è l'amore dei fisici per le costanti. La carica dell'elettrone, la costante di gravitazione universale, la velocità della luce nel vuoto: quale che sia l'esperimento, quali che siano le circostanze, questi parametri non cambiano mai. Se mutassero, non potremmo più invocare la precisione come criterio che separa le scienze «dure» da quelle sociali, come l'economia, dove i desideri e la pura e semplice stupidità umana rendono impossibili leggi universali.

Le costanti cosiddette fondamentali sono le preferite, perché più astratte e universali di tutte, visto che non dipendono dalle misurazioni. Se decidessimo di punto in bianco di cambiare la lunghezza del metro standard, o se il chilogrammo campione improvvisamente perdesse peso (ops!), tutti i valori assegnati, per esempio, alla velocità e alla massa di una particella dovrebbero cambiare di conseguenza. Ma le costanti fondamentali sono come *pi greco*: numeri immutabili, puri, che saltano fuori in ogni contesto dove la loro presenza sembra alludere a un fenomeno spiegabile, ma che finora ha resistito a ogni tentativo di spiegazione.

La più famosa tra le costanti fondamentali adimensionali è la cosiddetta «costante di struttura fine», legata al comportamento degli elettroni che abbiamo visto sopra. In breve, stabilisce con quale intensità le particelle negative, appunto gli elettroni, sono vincolate al nucleo positivo di un atomo. Al suo valore è anche legata la forza di certi fenomeni nucleari. Se questa costante – che qui denoterò con la lettera greca alfa, perché tutti gli scienziati al mondo fanno così – fosse stata più piccola anche solo di pochissimo, la fusione nelle stelle non avrebbe mai raggiunto le temperature necessarie a scindere il carbonio. Se invece fosse stata leggermente più grande, gli atomi di carbonio sarebbero

già tutti scomparsi da tempo immemorabile, prima di poter trovare la strada della Terra. Alfa ha evitato questi disastri assumendo un valore opportuno, e per questo le siamo tutti grati; però la cosa ci causa anche una certa ansia, visto che non siamo ancora riusciti a spiegare perché lo ha fatto. Anche un ateo impenitente come Richard Feynman fu spinto ad affermare che «un bravo fisico teorico deve per forza appendere [la costante] al muro del suo studio e pensare intensamente... a questo maledetto mistero della fisica, a questo numero magico che ci è arrivato senza che capissimo come. Se davvero lo ha scritto la “mano di Dio”, non sappiamo nemmeno come l’Altissimo impugnava la matita».

Ciò naturalmente non ha frenato i tentativi di decifrazione di questo strano mistero (paragonabile al «Pape Satan, pape Satan aleppe» dantesco). Uno dei più sensibili al fascino di alfa fu l’astronomo inglese Arthur Eddington, celebre per aver confermato sperimentalmente la relatività einsteiniana durante un’eclisse solare nel 1919. Aveva l’hobby della numerologia, e un talento naturale per questi giochetti.³ All’inizio del Novecento il valore accettato per alfa era circa $1/136$: Eddington si mise a cercare la «dimostrazione» del fatto che tale valore dovesse essere esattamente uguale a $1/136$, tirando in ballo collegamenti aritmetici tra 136 e 666, il numero della Bestia. (Un collega per prenderlo in giro gli suggerì di riscrivere l’Apocalisse tenendo conto di questa «scoperta»). Misure più precise eseguite in seguito mostrarono che alfa era più vicina a $1/137$, ma Eddington infilò un uno da qualche parte nella sua formula e andò avanti imperterrito, come se non gli avessero appena tolto la sedia da sotto (e guadagnandosi così l’imperituro nominolo di Sir Arthur *Adding-One*, «aggiungi-uno»). Un amico che lo aveva incontrato in un locale di Stoccolma fu turbato nel vederlo chiedere con insistenza di appendere il cappello al posto numero 137 nel guardaroba.

Oggi alfa si pone uguale a circa $1/137,0359$. È un valore che rende possibile l’esistenza della tavola periodica, cioè l’esistenza degli atomi e la loro capacità di reagire e formare composti; grazie a questo numero, gli elettroni non sono né

troppo liberi di andare a zonzo né troppo legati al nucleo. Questa notevole precisione ha portato non pochi scienziati a concludere che l'universo non può esserci arrivato per caso. Certi uomini di chiesa, più esplicitamente, sostengono che alfa sia la prova del fatto che un creatore ha «programmato» il cosmo in modo da rendere possibili le molecole e, a tempo debito, la vita. Ecco perché nel 1976 si sollevò un vero polverone quando lo scienziato sovietico Alexandr Shlyakhter, sulla base di certe ricerche condotte presso il fiume Oklo, in Africa, annunciò al mondo che secondo lui alfa, costante fondamentale e immutabile, in realtà si stava ingrandendo.

Il sito di Oklo è una meraviglia galattica: è l'unico reattore a fissione nucleare *naturale* conosciuto. L'innescò risale a circa 1,7 miliardi di anni fa, e quando nel 1972 il fenomeno fu scoperto da una spedizione francese fece sensazione nel mondo scientifico. Ci fu chi disse che era impossibile, mentre i sostenitori delle più ardite pseudoteorie lo presero come «prova» di congetture strampalate, per esempio che ci fosse lo zampino di una antica civiltà africana perduta o di extraterrestri fortunatamente atterrati sulla Terra a bordo di astronavi a propulsione nucleare. La verità era meno romantica: si scoprì che il sito funzionava grazie alla combinazione naturale di acqua, uranio e ciano-batteri (o alghe azzurre, che poi non sono altro che la raucillagine degli stagni). Tutto qui. Le alghe del fiume Oklo producono molto ossigeno grazie alla fotosintesi, il che rende l'acqua tanto acida da disciogliere l'uranio contenuto nella roccia sottostante il letto del fiume. Nei tempi antichi la concentrazione dell'isotopo 235, quello in grado di innescare la fissione, era maggiore rispetto a oggi (il 3 per cento contro lo 0,7 attuale). Grazie anche al filtraggio delle alghe sepolte nel sottosuolo, e dopo l'evaporazione dell'acqua, l'uranio si trovò concentrato a sufficienza da raggiungere la massa critica.

Questa è una condizione necessaria ma non sufficiente. In generale, perché inizi una reazione a catena i nuclei del materiale fissile devono venire colpiti dai neutroni e devono anche essere in grado di assorbirli. Nel caso dell'uranio puro, gli atomi emettono neutroni «veloci» che rimbalzano sui vicini

come sassi piatti sull'acqua, e dunque non servono a nulla. A Oklo fu possibile l'innescio solo perché l'acqua del fiume rallentò i neutroni a sufficienza, in modo da renderli preda dei nuclei. Senza questo particolare non sarebbe successo nulla.

Ma non è finita qui. La fissione, ovviamente, produce enormi quantità di calore ed energia. Perché allora oggi nel Gabon non c'è un grande cratere dovuto all'esplosione? Perché a un certo punto il riscaldamento dell'uranio fece evaporare tutta l'acqua. Senza acqua, i neutroni erano troppo rapidi per essere assorbiti e la fissione si arrestava. Solo dopo che l'uranio si fu raffreddato l'acqua tornò a infiltrarsi nel sottosuolo, rallentando i neutroni, e il processo poté ripartire. Era, in versione nucleare, qualcosa di simile al geyser «Old Faithful», la cui regolarità è proverbiale. In 150000 anni avrebbe consumato, in sedici siti intorno a Oklo, sei tonnellate e mezzo di uranio, con cicli di 150 minuti.

Come hanno fatto gli scienziati a ricostruire questo scenario 1,7 miliardi di anni più tardi? Grazie alla chimica. Nella crosta terrestre gli elementi sono mischiati in modo omogeneo e pertanto la proporzione tra i vari isotopi dovrebbe essere la stessa dappertutto. A Oklo, la concentrazione di uranio 235 era tra lo 0,003 e lo 0,3 per cento al di sotto del normale – uno scarto enorme. Ma la prova che Oklo era un reattore naturale e non il residuo di una operazione di contrabbando condotta da terroristi era la sovrabbondanza di neodimio. Il neodimio si presenta di norma con tre isotopi di numero pari, 142, 144 e 146. I reattori a fissione dell'uranio producono varietà dispari di neodimio in proporzioni superiori al normale. E difatti, quando i ricercatori analizzarono le concentrazioni dei vari isotopi, al netto del neodimio naturale, trovarono che l'«impronta» nucleare di Oklo coincideva con quella di un moderno reattore a fissione costruito dall'uomo. Stupefacente.

Purtroppo però lo stesso non si poteva dire per altri elementi. Quando nel 1976 Shlyakhter confrontò le scorie nucleari di Oklo con quelle delle moderne centrali, si accorse che la quantità di samario era troppo bassa. Di per sé, la cosa non è particolarmente eccitante. Ma il fatto è che i processi

nucleari sono caratterizzati da una regolarità stupefacente. Il samario *deve* presentarsi in certe quantità. La deviazione del samario rispetto alla norma fece capire a Shlyakhter che qualcosa non quadrava. Estrapolando audacemente, calcolò che se soltanto la costante di struttura fine fosse stata un tantino più piccola quando Oklo era entrato in funzione, le discrepanze si sarebbero spiegate facilmente. In questo assomigliava a Bose, che come ricorderete non pretendeva di sapere perché le sue equazioni «sbagliate» spiegassero tante cose; sapeva solo che i conti tornavano. C'era però un grosso problema: alfa è una costante fondamentale, e come tale *non può* variare, stando a quanto dice la fisica. E quel che per alcuni è più grave, se alfa fosse variata nel tempo, era poco probabile che qualcosa (o piuttosto Qualcuno) l'avesse «calibrata» per consentire la nascita della vita.

Con una posta così alta, è comprensibile che dopo il 1976 molti ricercatori abbiano reinterpretato e contestato il legame tra i dati di Oklo e la costante di struttura fine. Le variazioni che vengono misurate sono così minuscole e i dati geologici così frammentari, dopo 1,7 miliardi di anni, che sembra improbabile che si arrivi a una conclusione definitiva. Ma lanciare un'ipotesi nell'agone della scienza può avere, una volta di più, risultati inaspettati. I dati raccolti da Shlyakhter sul samario fecero venire l'acquolina a parecchi fisici ambiziosi, smaniosi di buttare a mare le vecchie teorie, tanto che oggi lo studio della variabilità delle costanti fondamentali è un settore piuttosto attivo. A incoraggiare i ricercatori è l'idea che, anche se alfa può essere cambiata ben poco in «soli» 1,7 miliardi di anni, potrebbe essersi evoluta rapidamente nel primo miliardo di anni di vita dell'universo, epoca dominata dal caos. Difatti, dopo aver studiato oggetti come i quasar e le nubi interstellari, un gruppo di astronomi australiani ha annunciato qualche anno fa di aver riscontrato le prime prove concrete della variabilità delle costanti.⁴

I quasar, «oggetti quasi stellari», sono associati a buchi neri supermassicci che distruggono e inghiottono le stelle vicine, rilasciando nel processo quantità colossali di energia luminosa. Beninteso, quando gli astronomi raccolgono questa luce,

non osservano i fatti in tempo reale, ma eventi che si sono verificati moltissimo tempo fa, perché la luce impiega un certo tempo per attraversare l'universo. Gli australiani studiarono in che modo la luce emessa da antichissimi quasar veniva influenzata attraversando gigantesche tempeste di polvere interstellare. In genere i raggi luminosi sono assorbiti dalle particelle in sospensione all'interno di una nuvola, ma non completamente: la nube infatti non è un corpo opaco. L'assorbimento avviene solo su specifiche frequenze, diverse per ogni elemento. Inoltre la luce assorbita non è monocromatica ma corrisponde a due lunghezze d'onda leggermente diverse, un po' come il sol diesis e il sol bemolle dell'orologio atomico.

Gli astronomi australiani non ebbero molta fortuna con certi elementi della nube di polvere; si scoprì infatti che questi elementi quasi non avvertivano le variazioni di alfa. Allargarono allora l'indagine ad altri elementi, in particolare al cromo, che si è dimostrato invece molto dipendente da alfa: minore il valore di questa costante nel passato, maggiore lo spostamento verso il rosso della luce assorbita e più stretti gli intervalli tra i suoi livelli «sol diesis» e «sol bemolle». Calcolando questi valori nel cromo e in altri elementi prodotti miliardi di anni fa nelle vicinanze del quasar, e confrontandoli con quelli ottenuti ai nostri giorni in laboratorio, è possibile verificare se nel frattempo alfa è cambiata. E benché gli australiani – come tutti i ricercatori, soprattutto se le loro tesi vanno controcorrente – minimizzino la portata dei loro risultati e li esprimano in un linguaggio scientifico che abbonda di riferimenti al fatto che i dati sono semplicemente «coerenti» con questa o quella ipotesi, sembrano convinti che le loro raffinatissime misurazioni indichino che alfa è cambiata in dieci miliardi di anni di una quantità che può arrivare allo 0,001 per cento.

Siamo onesti, è una cifra ridicola su cui litigare, come se Bill Gates si battesse per ottenere uno sconto di pochi centesimi. Ma la grandezza non conta, ciò che davvero importa è la *possibilità* che una costante fondamentale possa mutare nel corso del tempo.⁵ Molti colleghi contestano i risultati degli australiani, ma se questi (o altri analoghi) dovessero rivelarsi corretti, dovremmo ripensare la teoria del big

bang, perché in tal caso le leggi fisiche a noi note non sarebbero le stesse applicabili ai primi istanti di vita dell'universo.⁶ Una costante alfa variabile deporrebbe Einstein dal trono, come questi aveva fatto a suo tempo con Newton, e come Newton aveva fatto con la filosofia naturale della Scolastica. Vedremo tra breve che l'incostanza della costante di struttura fine avrebbe conseguenze rivoluzionarie anche sulla ricerca di altre forme di vita nel cosmo.

Abbiamo già fatto conoscenza con Enrico Fermi in due occasioni non particolarmente felici. In un capitolo abbiamo raccontato la sua morte dovuta a intossicazione da berillio e in un altro l'abbiamo visto vincere un Nobel per una scoperta, quella degli elementi transuranici, che si rivelò poi errata. Ma non vorrei lasciarvi con un'impressione negativa di quest'uomo formidabile, uno degli scienziati più universalmente amati dai colleghi. L'elemento numero 100 è stato battezzato fermio, in onore di colui che fu probabilmente l'ultimo fisico sia teorico sia sperimentale, a suo agio con gesso e lavagna ma anche con il grasso delle macchine. Era famoso per la sua straordinaria rapidità di calcolo e pensiero. Durante i seminari, mentre i colleghi a volte dovevano correre in ufficio a consultare i testi perché non si ricordavano qualche astrusa formula, Fermi se la ricavava da zero, in genere mettendoci meno tempo. Una volta chiese a un giovane collaboratore di calcolare quanti millimetri di polvere si sarebbero potuti accumulare sul davanzale di una finestra del laboratorio (notoriamente sporca) prima che il sistema collassasse sotto il suo stesso peso e cadesse a terra. La risposta a questa domanda burlona non è stata tramandata dalla storia.⁷

Nemmeno lui, però, riuscì a venire a capo di un problema apparentemente semplice ma in realtà diabolico. Abbiamo già fatto notare quanto sia delicata, a livello filosofico, l'apparente «regolazione fine» delle costanti universali, che hanno proprio i valori giusti richiesti per la nascita della vita. Oltretutto sappiamo da lungo tempo che la Terra non ha niente di speciale dal punto di vista cosmico. Dato l'immenso numero di stelle e pianeti nell'universo, e,

dato il lunghissimo tempo trascorso dal big bang (e non impantanandoci in questioni religiose), siamo portati a concludere che la vita debba esistere in molte altre parti nel cosmo. Eppure non abbiamo mai visto un extraterrestre, né abbiamo mai ricevuto messaggi dallo spazio. Mentre stava meditando su questo paradosso un giorno a pranzo, Fermi improvvisamente gridò, come se stesse davvero cercando l'aiuto dei colleghi: «Ma allora dove sono tutti quanti?».

I commensali scoppiarono a ridere: era nato il cosiddetto «paradosso di Fermi». Ma altri scienziati lo presero sul serio e si misero alla ricerca di una risposta. La più nota risale al 1961, anno in cui l'astrofisico Frank Drake formulò l'equazione che oggi porta il suo nome. Un po' come il principio di indeterminazione, l'equazione di Drake è stata caricata di vari livelli interpretativi, fino a oscurarne il vero significato. In breve, consiste in una serie di stime: quante sono le stelle nella nostra galassia, quante hanno un sistema planetario con un pianeta simile alla Terra, quanti di questi pianeti ospitano vita intelligente, quante di queste civiltà desiderano mettersi in contatto con noi, e così via. Secondo i calcoli originali di Drake, il numero di civiltà potenzialmente socievoli nella nostra galassia è pari a dieci.⁸ Ma si tratta appunto di un calcolo basato su stime, più o meno ragionevoli, il che ha spinto molti scienziati a considerare l'intera faccenda nulla più di aria fritta. Come accidenti è possibile, per esempio, capire quanti alieni hanno voglia di parlare con noi? Li mettiamo sul lettino dello psicoanalista?

Eppure l'equazione di Drake è importante, perché esplicita il tipo di dati che dobbiamo conoscere per fare simili stime e fornisce basi un po' più solide all'esobiologia (lo studio della possibilità di vita extraterrestre). Forse un giorno la vedremo in modo simile a quanto oggi facciamo con i primi abbozzi di tavola periodica. I recenti e notevoli progressi nella tecnologia dei telescopi, e di altri strumenti di misura celesti, ci danno la possibilità di passare dalla stima alla raccolta di dati. Grazie al telescopio spaziale Hubble e ai suoi cugini, oggi siamo in grado di fare molto meglio di Drake. Invece di aspettare che gli alieni ci contattino (o di puntare il cannocchiale nel cielo alla ricerca di tracce di ci-

viltà, l'equivalente della Grande Muraglia), potremmo riuscire a dimostrare direttamente la presenza di vita, anche muta, come microbi e piante. Il tutto grazie agli elementi, e in particolare al magnesio.

Il magnesio è ovviamente meno importante dell'ossigeno e del carbonio, ma l'elemento numero 12 potrebbe essere di grande aiuto per le forme primordiali in procinto di fare il grande salto da molecole organiche a vita vera e propria. Quasi tutti gli organismi contengono tracce di elementi metallici, che servono soprattutto alla creazione, trasporto e immagazzinamento di energia. Gli animali usano più il ferro, contenuto nella molecola dell'emoglobina, ma le prime forme di vita diffuse sulla Terra, specialmente i cianobatteri, si appoggiavano al magnesio. Nello specifico, la clorofilla (forse la più importante sostanza organica sul nostro pianeta, responsabile della fotosintesi che converte la luce solare in zuccheri, molecole alla base della catena alimentare) contiene al suo centro un atomo di magnesio. Lo stesso elemento negli animali aiuta la sintesi e la replicazione del DNA.

I depositi di magnesio sulla crosta terrestre segnalano la presenza di acqua in forma liquida, la sostanza dove è più probabile sia nata la vita. I composti del magnesio assorbono acqua come spugne; quindi, anche in pianeti nudi e rocciosi come Marte c'è la speranza di trovare batteri (vivi o fossili) all'interno di queste formazioni. Sui cosiddetti «pianeti oceano» (interamente coperti d'acqua, come il satellite di Giove chiamato Europa, uno dei migliori candidati a ospitare vita extraterrestre nel nostro sistema solare) il magnesio aiuta a mantenere fluidi i mari. Europa è coperta da un manto ghiacciato, sotto il quale esistono grandi oceani liquidi, che secondo i dati raccolti dalle sonde sono pieni di sali di magnesio. Come tutte le sostanze disciolte, questi sali abbassano il punto di gelo dell'acqua, che così rimane liquida anche a basse temperature. I sali di magnesio sono anche responsabili della formazione di «vulcani salati» sul fondo degli oceani. Fanno aumentare il volume dell'acqua in cui sono disciolti e la pressione aggiuntiva che ne deriva alimenta vulcani che eruttano acqua salmastra e creano turbolenza nelle profondità oceaniche.

(La pressione è anche in grado di rompere le superfici ghiacciate e di generare iceberg che vanno in giro per i mari, il che è una buona cosa, se pensiamo che le bolle contenute nel ghiaccio possano avere un ruolo importante nella nascita della vita). Inoltre, i minerali di magnesio sono in grado di fornire la materia prima per la vita legandosi con certi composti ricchi di carbonio presenti sul fondo oceanico. A meno di riuscire a spedire una sonda o di vedere direttamente la vegetazione aliena, riconoscere la presenza di magnesio in un pianeta nudo e privo di atmosfera è il segno più sicuro del fatto che potrebbe accadere qualcosa, dal punto di vista biologico.

Anche se la caccia alla vita extraterrestre si avvale ormai di mezzi tecnologicamente sofisticati, rimane sempre il fatto che si basa su una fondamentale assunzione: le leggi scientifiche valide sulla Terra si applicano anche in altri luoghi dell'universo e in altri tempi. Ma se la costante di struttura fine fosse variabile, l'intera questione cambierebbe in modo radicale. Forse la vita non si è potuta formare fino a quando alfa non si è «rilassata» abbastanza da permettere la formazione di atomi stabili di carbonio, e forse a quel punto le molecole organiche sono nate spontaneamente, senza bisogno di un creatore. E poiché Einstein ha dimostrato che spazio e tempo sono strettamente legati, c'è chi pensa che la variabilità di alfa nel tempo implichi anche la sua non costanza nello spazio. Secondo questa ipotesi, la vita potrebbe essere sorta qui, su questo apparentemente anonimo pianeta in un angolo anonimo dell'universo, perché solo in questa regione di spazio esistono le condizioni fisiche adatte alla formazione di atomi e molecole stabili. Il paradosso di Fermi sarebbe risolto con uno schiocco di dita: non riceviamo visite di alieni perché là fuori non c'è nessuno.

A oggi, l'opinione prevalente è che le cose non stiano così. Studiando le anomalie gravitazionali di stelle lontane, abbiamo scoperto migliaia di pianeti extrasolari, il che depone a favore della probabilità di trovare vita aliena. Nei prossimi anni dovremo capire una volta per tutte se la Terra, e dunque la razza umana, abbia o no uno status privilegiato nello spazio. La caccia alla vita extraterrestre richiederà le

nostre più geniali intuizioni, e forse l'aiuto di qualche casella oggi trascurata della tavola periodica. Certo, se puntando un telescopio verso una stella lontana trovassimo segni inconfutabili di vita, anche primordiale, avremmo compiuto la scoperta più importante dell'umanità, cioè avremmo la prova del fatto che non siamo poi tanto speciali. Però esistiamo e siamo in grado potenzialmente di fare scoperte del genere e capirne la portata.

ESPLORAZIONI OLTRE LA TAVOLA PERIODICA

⁸⁷ Fr ₂₂₃	⁸⁵ At ₂₁₀	⁹⁹ Es ₍₂₅₂₎	⁸⁹ Ac ₂₂₇	⁴⁹ In _{114.818}
---------------------------------------	---------------------------------------	---	---------------------------------------	---

C'è un mistero che riguarda le frange estreme della tavola periodica. Gli elementi fortemente radioattivi sono poco abbondanti sulla Terra, quindi saremmo portati a concludere che il più fragile di tutti sia anche quello più raro. L'elemento che decade più rapidamente, tanto da sparire quasi subito, è il francio, il cui tempo di dimezzamento è dell'ordine dei minuti. Per essere raro è raro, eppure non gli spetta il titolo di sostanza meno diffusa al mondo. È un paradosso la cui soluzione ci porterà fuori dai territori familiari della tavola periodica. Dovremo avventurarci nel Nuovo Mondo della fisica nucleare e conquistare una terra, la cosiddetta «isola di stabilità», che è forse la nostra unica speranza di estendere il dominio della chimica oltre gli attuali confini.

Come sappiamo, il 90 per cento della materia nel cosmo è idrogeno e il rimanente 10 è elio. Tutto il resto, compresi i seimila miliardi di miliardi di tonnellate della Terra, si può considerare trascurabile, un errore sperimentale nella pesata dell'universo. All'interno di quei seimila miliardi di miliardi di tonnellate, l'astato conta per poco più di venti grammi: è lui l'elemento più raro di tutti. Per rendere più chiara la sua incommensurabile scarsità, immaginate di aver parcheggiato la vostra Lamborghini Astatò in un colossale

autosilo e di non ricordarvi più in quale punto l'avete lasciata. Non c'è altra soluzione che passare in rassegna tutti i piani e tutte le file. Che noia. Ecco, la ricerca dell'astato nella crosta terrestre equivale alla ricerca di un auto in un parcheggio con cento milioni di piani, ognuno con cento milioni di file, ognuna con cento milioni di posti. Ah, non è finita: l'autosilo non è unico, ma ce ne sono centosessanta identici. La vostra Astatò è in uno a caso, da qualche parte. Decisamente vi conviene lasciarla lì e tornare a piedi.

Se l'astato è così raro, viene spontaneo chiedersi come abbiamo fatto a calcolarne la quantità. In realtà i ricercatori hanno in un certo senso barato. L'astato presente ai primordi della vita del pianeta è già tutto sparito da tempo, ma in alcuni casi questo elemento si ritrova come prodotto del decadimento nucleare di altri. Se conosciamo la massa totale dei progenitori (elementi dalle parti dell'uranio) e calcoliamo la probabilità che un atomo di questi decada in astato, possiamo ricavare una misura plausibile della quantità totale dell'astato stesso. È un procedimento che funziona anche per altri elementi. Per esempio, in ogni momento esistono sulla Terra, in base a questi calcoli, poco meno di trenta grammi di francio, vicino di posto dell'astato sulla tavola.

La cosa strana è che l'astato è molto più resistente del vicino, con un tempo di dimezzamento massimo di circa otto ore contro i ventidue minuti del francio. Quest'ultimo è così precario da essere del tutto inutile. Anche se è possibile (seppur con grande difficoltà) riconoscerne le tracce in natura, nessuno potrà mai raccoglierne un numero di atomi sufficienti a mettere insieme un campione visibile. E se un giorno ci si riuscisse, la radioattività sarebbe così intensa da uccidere all'istante chiunque si trovasse nelle vicinanze. (L'attuale record per un raggruppamento di atomi di francio è di soli diecimila).

Allo stesso modo, nessuno riuscirà mai a produrre un campione visibile di astato, ma per lo meno questo elemento ha una sua utilità: è un radioisotopo ad azione veloce che potrebbe essere utilizzato nella diagnostica medica. Poco dopo la sua scoperta, avvenuta nel 1939 a opera di un gruppo ca-

pitanato dal nostro vecchio amico Emilio Segrè, fu iniettato in una cavia per studiarne gli effetti biologici. L'astato, che nella tavola periodica sta subito sotto lo iodio, di cui imita il comportamento, si concentrò in modo specifico nella tiroide del roditore. A oggi, è l'unico elemento la cui esistenza fu confermata grazie a un animale diverso da un primate.

Il misterioso scambio di ruoli tra francio e astato ha origine nei loro nuclei. Qui, come in tutti gli atomi, si fronteggiano due forze: l'interazione nucleare forte (che è sempre attrattiva) e quella elettromagnetica (che può essere repulsiva). La prima è di gran lunga la più intensa tra le quattro forze fondamentali della natura, ma ha un raggio d'azione ridicolmente corto. Ricorda un po' il tirannosauro: grande potenza e braccine rachitiche. Già non si avverte oltre un millesimo di miliardesimo di millimetro, e per questo motivo raramente entra in gioco in ambiti diversi dai nuclei atomici e dai buchi neri. Ma all'interno del suo dominio è assai potente e vale cento volte la forza elettromagnetica. Ciò è bene, perché in questo modo riesce a tenere insieme i nuclei, impedendo che la forza repulsiva delle cariche elettriche di segno uguale li faccia a pezzi.

In nuclei grandi come quelli del francio e dell'astato, l'interazione forte arriva a malapena a tenere a bada le particelle. Il francio ha 87 protoni, a cui non piace proprio stare insieme. I suoi 130 (più o meno) neutroni isolano abbastanza bene le cariche positive, ma aggiungono anche molto volume, al punto che l'interazione forte non riesce a coprire tutto il nucleo e a placare le tendenze distruttive. Per questo motivo il francio (e analogamente l'astato) è un elemento molto instabile. E logicamente, aggiungere altri protoni aumenta la repulsione elettrica e rende ancora più deboli gli atomi più pesanti del francio.

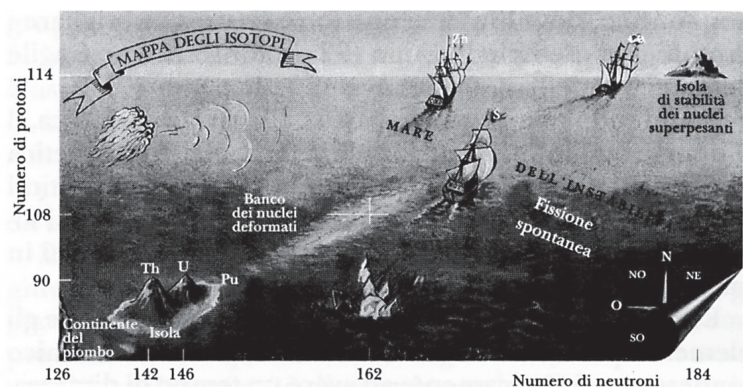
Il ragionamento fila, ma è solo parzialmente corretto. Come ricorderete, Maria Goeppert-Mayer (la «madre di famiglia di San Diego» che vinse il premio Nobel, cap. 1) aveva elaborato una teoria su elementi «magici» di grande longevità: gli atomi con 2,8,20,28, ecc. protoni o neutroni erano superstabili. Oggi sappiamo che esistono nuclei compatti e piuttosto stabili con un numero di protoni o neutroni

non magico, dove l'interazione forte riesce a imbrigliare i protoni. Per esempio l'uranio (92 protoni) è meno fragile del francio e dell'astato, pur essendo più pesante.

Scendendo sempre più in basso nella tavola periodica, il rapporto tra l'interazione forte e la forza elettromagnetica sembra il grafico dell'andamento borsistico degli ultimi tempi: la stabilità tende chiaramente a diminuire, ma ci sono parecchie fluttuazioni in corrispondenza di nuclei in cui l'una o l'altra forza ha il sopravvento.¹

Estrapolando questo comportamento, si pensava che gli elementi transuranici all'aumentare del numero atomico tendessero asintoticamente ad avere un tempo di dimezzamento pari a zero. Ma tra gli anni Cinquanta e Sessanta, man mano che si afferravano elementi sempre più pesanti, ci si accorse di un fenomeno non previsto. In teoria i numeri magici sono infiniti, e così pure i nuclei stabili. L'elemento numero 114, secondo le ricerche effettuate a Berkeley (e dove se no?) pareva essere quasi-stabile, con un'emivita molto più lunga degli elementi pesanti che lo precedono nella tavola periodica. Poiché questi ultimi sono in genere sostanze fragilissime che decadono in microsecondi, la scoperta era a dir poco sconcertante. Aggiungere protoni e neutroni agli elementi artificiali, aumentando le forze presenti nel nucleo, è come stivare candelotti di dinamite. Eppure nel caso del 114 l'aggiunta di esplosivo sembrava rendere il tutto *più stabile*. Ad aumentare la stranezza della faccenda c'era il fatto che gli elementi 112 e 116 sembravano trarre beneficio dall'avere un numero di protoni non distante da 114, perché anch'essi erano molto più calmi dei vicini. Gli scienziati pensarono di avere trovato un gruppo di elementi particolari, che battezzarono «isola di stabilità».

Affascinati dalla metafora, e smaniosi di dipingersi come esploratori impavidi, si prepararono alla conquista dell'isola. Nei loro articoli si parlava di «Atlantide degli elementi», e qualcuno si mise anche a disegnare carte nautiche dei mari nucleari ignoti, fatte alla maniera delle mappe del tesoro (mancavano soltanto i mostri marini). In effetti, negli ultimi decenni i tentativi di approdare a questa oasi degli elementi superpesanti ha condotto a ricerche tra le più in-



Una mappa fantasiosa della mitica «isola di stabilità», un gruppo di elementi superpesanti che si spera possa far ampliare la tavola periodica assai oltre i suoi attuali confini. Il «continente del piombo» è la parte stabile della tavola stessa, oltre il quale si aprono le acque insidiose degli elementi instabili. Spiccano i picchi, non troppo alti, di torio, uranio e plutonio, prima del mare aperto (Yuri Oganessian, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia).

teressanti nel campo della fisica nucleare. La meta non è ancora stata raggiunta, perché non si è ancora riusciti ad accumulare la quantità di neutroni necessaria a formare nuclei «doppiamente magici» (cioè quelli che hanno sia neutroni sia protoni pari a un numero magico); però siamo in vista della costa e navighiamo in acque poco profonde in cerca di un porto.

Ovviamente l'isola di stabilità è circondata da fondali oceanici dove stanno gli elementi instabili. Il re di questo dominio è il francio. Ha numero atomico 87, a mezza strada tra l'82 (il piombo, nucleo corrispondente a un numero magico) e il 92 (il quasi-magico uranio), dunque i suoi neutroni sono fortemente tentati di abbandonare la nave per approdare a lidi più sicuri. A causa della struttura precaria del nucleo, il francio non è solo il più instabile tra gli elementi naturali, ma è anche più fragile di tutti quelli sintetici fino al 104, lo sfuggente rutherfordio. Se esiste una «fossa dell'instabilità», equivalente chimico della fossa delle Marianne, il francio è lì che sobbolle nel suo punto più basso.

Eppure è meno raro dell'astato. Perché? Molti elementi radioattivi situati dalle parti dell'uranio sulla tavola periodica decadono in francio. Quest'ultimo però, invece di decadere a sua volta emettendo una particella alfa e dunque mutandosi in astato (data la perdita di due protoni), il 99,9 per cento delle volte preferisce il decadimento beta, per dare un po' di sollievo al suo nucleo stressato, e diventa radio. Il radio a sua volta decade a catena emettendo particelle alfa, e «salta» l'astato. In altre parole, il decadimento di vari elementi li porta a una breve sosta dalle parti del francio, mentre in genere saltano l'astato, che dunque è più raro. Mistero risolto.

Ora che abbiamo sondato gli abissi, che possiamo dire dell'isola di stabilità? È poco probabile che riusciremo a sintetizzare elementi con numeri magici molto alti, ma magari, dopo il quasi-stabile 114, potremmo arrivare allo stabile 126, e da lì chissà. Alcuni ricercatori pensano che anche l'aggiunta di elettroni agli atomi superpesanti possa stabilizzarli, perché queste particelle potrebbero agire come «molle» in grado di assorbire le alte tensioni che in genere rompono i nuclei. Se fosse vero, allora forse potremmo arrivare a elementi come il 140, il 160 o il 180 e l'isola di stabilità si tramuterebbe in un arcipelago. Si tratterebbe di un sistema di isole distanti tra loro, ma forse gli scienziati, come polinesiani in canoa, sarebbero in grado di attraversare vasti bracci di mare.

La cosa interessante è che questi nuovi elementi non sarebbero semplici versioni più pesanti di quelli già noti, ma potrebbero avere caratteristiche del tutto nuove (ricorderete che nella stessa colonna della tavola periodica ci sono sostanze diversissime come carbonio, silicio e piombo). Secondo certi calcoli, se gli elettroni fossero davvero in grado di domare i nuclei superpesanti e renderli più stabili, sarebbero soggetti all'influenza dei nuclei stessi e si disporrebbero nei livelli energetici e negli orbitali in modo diverso. Per esempio, un elemento il cui posto sulla tavola lo assegnerebbe alla normale famiglia dei metalli potrebbe riempire gli ottetti in modo tale da comportarsi come un gas nobile.

Con un pizzico di *hybris*, gli scienziati hanno già imposto un

nome a questi elementi ipotetici. Se osservate una versione recente della tavola periodica vedrete che le caselle in fondo sono contrassegnate non con due lettere ma con tre, sigle che iniziano tutte per «u». E a causa della persistente influenza delle lingue classiche. La regola prevede di usare numeri greci e latini, per cui ad esempio l'ipotetico elemento 119 è denominato «ununennio» (da *unum-unum-ennea*) e siglato come Uue, il 122 è «unbibio», siglato Ubb,² il numero magico 184 è «unoctoquadio», Uoq, e così via. Riceveranno i loro nomi «veri» se e quando verranno creati, ma per adesso li dobbiamo segnare sulla tavola con i nomi latineggianti. (E meno male che almeno qui il latino resiste. L'altro bastione della classicità nella scienza, la nomenclatura binaria delle specie viventi, pare stia per essere sostituito da un sistema di «codici a barre» basati sul DNA: addio *Homo sapiens*, benvenuto TCATCGGTCATTGG...).³

Fino a quando possiamo esplorare questo arcipelago? Scopriremo nuove isolette vulcaniche ai confini della tavola periodica, fino ad arrivare magari all'ennennennio, l'elemento 999 dal suggestivo simbolo Eee, o anche oltre? Ahimè no. Anche se trovassimo una tecnica per incollare insieme gli elementi superpesanti, facendo in modo di atterrare sulle più distanti isole di stabilità, è quasi certo che a un certo punto cadremmo nel mare in tempesta.

La ragione ha a che vedere con Einstein, in particolare con la più grossa delusione della sua carriera. Nonostante quel che molti pensano, il grande fisico non vinse il premio Nobel per aver scoperto la teoria della relatività, ristretta o generale, ma per aver spiegato uno strano fenomeno quantistico detto «effetto fotoelettrico». La sua soluzione fu la prima vera prova del fatto che la meccanica quantistica non era solo un puntello matematico per giustificare certi risultati anomali, ma che aveva corrispondenza con la realtà. Ci sono ben due motivi per cui possiamo invocare l'ironia della sorte. In primo luogo, Einstein in vecchiaia divenne un feroce avversario della meccanica quantistica. La natura intrinsecamente probabilistica di quella teoria la rendeva per lui simile a un gioco d'azzardo, da cui la celebre obiezione «Dio non gioca a dadi con l'universo».

Si sbagliava. La risposta di Bohr dovrebbe essere altrettanto famosa: «Einstein, non dire a Dio cosa deve fare!».

In secondo luogo, Einstein spese larga parte della sua carriera scientifica nel tentativo di unificare la meccanica quantistica e la relatività in un'unica e snella «teoria del tutto», senza riuscirci. Non fu però un fallimento totale. In alcuni casi i due ambiti si completano a vicenda in modo elegante. Per esempio, le correzioni relativistiche alla velocità degli elettroni spiegano perché il mercurio (l'elemento con cui ho iniziato questo libro e che sembra sempre ritornare) a temperatura ambiente è liquido e non solido come sarebbe lecito aspettarsi. E nessuno avrebbe mai potuto sintetizzare l'elemento 99 a lui dedicato, l'einsteinio, senza una conoscenza approfondita di entrambe le teorie. Ma di solito la gravità, la velocità costante della luce e la relatività in genere non si accordano bene con la meccanica quantistica. Nei casi in cui vengono in conflitto, come dentro ai buchi neri, tutte quelle belle equazioni vanno a gambe all'aria.

Questo problema potrebbe porre limiti all'estensione massima della tavola periodica. Torniamo all'analogia tra elettroni e pianeti. Mercurio gira attorno al Sole in tre mesi, mentre Nettuno ci mette 165 anni; lo stesso capita per gli elettroni dei livelli interni rispetto a quelli esterni. Il valore preciso della loro velocità dipende dal rapporto tra il numero di protoni nel nucleo e alfa, la costante di struttura fine di cui abbiamo parlato nell'ultimo capitolo. Al crescere di questo rapporto, gli elettroni si avvicinano alla velocità della luce. Alfa è fissata (almeno speriamo) a circa $1/137$, dunque oltre i 137 protoni certi elettroni dovrebbero avere velocità superiore a quella della luce, il che non è permesso dalla relatività einsteiniana.

Questo ipotetico ultimo elemento a volte è detto «feynmanio», in onore di Richard Feynman, il primo ad accorgersi del problema. Lo ricorderete nel capitolo scorso: sua la definizione di alfa come «maledetto mistero della fisica», e ora capite il perché. Nei territori oltre i confini del feynmanio, tra le irresistibili forze della meccanica quantistica e gli invariabili oggetti della relatività qualcuno deve cedere il passo. Nessuno sa chi.

Alcuni fisici, gente che pensa sul serio ai viaggi nel tempo,

sono convinti che la relatività permetta l'esistenza dei «tachioni», particelle speciali (e non osservabili, il che torna proprio comodo) in grado di viaggiare più veloci della luce. Grazie a questa proprietà, potrebbero anche andare indietro nel tempo. Quindi se un giorno un superman della chimica creerà l'elemento 138, l'untriottio, questo sarà dotato in alcuni livelli energetici di elettroni viaggiatori nel tempo, mentre il resto dell'atomo rimane nel presente? Probabilmente no. La velocità della luce sembra proprio mettere un limite invalicabile alla dimensione massima degli atomi: le ipotetiche isole di stabilità oltre tale limite si sgretolerebbero come gli atolli dopo i test nucleari negli anni Cinquanta.

Dunque prima o poi la tavola periodica verrà completata e rimarrà immutabile per sempre, come un fossile?

No, proprio per niente.

Se mai degli extraterrestri venissero quaggiù con le loro astronavi, non è detto che riusciremmo a comunicare con loro, e non solo per il fatto che non parleranno ovviamente il «terrestre». Magari non useranno suoni, ma feromoni o impulsi luminosi. Stare accanto a loro potrebbe anche avvelenarci, specialmente se la loro chimica fosse basata sul silicio e non sul carbonio. Anche se riuscissimo a entrare nei loro cervelli, alcuni dei nostri concetti di base, come l'amore, la religione, il rispetto per gli altri, la famiglia, il denaro, la pace, ecc., rischierebbero di lasciarli indifferenti. Gli unici ambiti, o quasi, in cui saremmo sicuri di trovare un terreno comune sono le costanti matematiche, come π greco, e la tavola periodica.

Ovviamente qui penso alle *proprietà* degli elementi, non alla struttura standard «a castello» della tavola, che sebbene sia stampata sul dorso di tutti i manuali di chimica non è che uno dei tanti modi possibili di sistemare gli elementi. I nostri bisnonni hanno studiato su tavole differenti, con solo otto colonne. Le file dei metalli di transizione erano compresse in caselle divise a formare due triangoli, come accade in certi calendari quando il 31 del mese non sta nella grafica. In certi casi, addirittura, i lantanidi erano inseriti

nel corpo principale della tavola, con uno spiacevole effetto di affollamento.

A nessuno passava per la testa di dare un po' più di spazio ai metalli di transizione prima che Glenn Seaborg e i suoi colleghi dell'Università della California a Berkeley (ancora loro) riconfigurassero l'intera tavola periodica tra la fine degli anni Trenta e l'inizio degli anni Sessanta. Non si limitarono ad aggiungere nuovi elementi, ma capirono che sostanze come l'attinio non si integravano nello schema che li aveva accompagnati negli studi fin lì. Oggi sembra incredibile, ma c'è da dire che i chimici non avevano preso la periodicità abbastanza sul serio. Essi credevano che i lantanidi, con la loro fastidiosa abitudine di nascondere gli elettroni in profondità, fossero eccezioni alle normali regole della tavola periodica e che elementi dalla chimica simile non si sarebbero mai più visti. E invece no. La chimica dei lantanidi si ripete, come previsto da uno degli imperativi categorici della chimica, la proprietà per eccellenza degli elementi che gli extraterrestri riconoscerebbero. E con la stessa sicurezza di Seaborg, saprebbero che gli elementi, subito dopo il numero 89, l'attinio, divergono per diventare qualcosa di nuovo e di insolito.

L'attinio è stata la chiave che ha portato la tavola periodica ad assumere la sua forma attuale, da quando Seaborg e colleghi decisero di prendere tutti gli elementi pesanti noti all'epoca – oggi chiamati attinidi in onore del loro primo rappresentante – e di piazzarli in una sezione a parte, sul fondo della tavola. Dopo averli spostati, decisero che i metalli di transizione, fino ad allora stretti due per casella, dovevano avere più spazio e aggiunsero dieci colonne. Questa nuova configurazione era così efficiente che altri la copiarono. Ci volle un po' perché i tradizionalisti attaccati al vecchio modello cedessero, ma alla fine, negli anni Settanta, la tavola periodica abbandonò in via definitiva la struttura a calendario per abbracciare quella a castello, la fortezza della chimica moderna.

Ma chi dice che questa forma sia ideale? Il modello a colonne regna incontrastato dai tempi di Mendeleev, ma lui stesso ne propose una trentina di versioni diverse, e nei secoli siamo arrivati a più di settecento variazioni. Alcuni pensano che una

delle due torrette laterali vada staccata da lì e affiancata alla sua gemella dall'altra parte, in modo da creare una specie di scala sgheмба. Altri non sono contenti della posizione di idrogeno ed elio e vorrebbero metterli in diverse colonne per sottolineare il fatto che questi due elementi (per cui non vale la regola dell'ottetto) sono coinvolti in strane situazioni chimiche.

Davvero, se iniziamo a giocare con la forma della tavola non ci sono freni alla fantasia; perché limitarsi a file e colonne di quadratini?⁴ In certi testi moderni è strutturata come un alveare, in cui le caselle si dipartono in spirali sempre più ampie dal centro, dove è piazzato l'idrogeno. È una versione che dovrebbe piacere ad astronomi e astrofisici: l'idrogeno sembra il Sole e gli altri elementi gli orbitano attorno come pianeti. I biologi hanno prodotto modelli a elica, sulla falsariga del DNA, e certi fanatici di giochi l'hanno ripensata a forma di croce, come la tavola del gioco indiano del *pachisi*. C'è addirittura chi ha brevettato (non scherzo: brevetto n. 6361324) un cubo di Rubik piramidale sulle cui facce sono riprodotti gli elementi.

Gli amanti della musica apprezzeranno di sicuro certe versioni che si servono del pentagramma. Il nostro vecchio amico William Crookes, quello delle sedute spiritiche, progettò due tavole, una a forma di liuto e l'altra, intrecciata, simile a un *brezel*. Le mie preferite sono due. Una è piramidale ed è costruita abilmente in modo da diventare sempre più larga riga dopo riga, per mostrare graficamente dove si piazzano i nuovi orbitali e come gli elementi più pesanti si inseriscono nello schema generale. L'altra ha due strani incroci nel mezzo, la cui ragione non comprendo, ma mi piace molto perché ricorda il nastro di Möbius.

Non siamo neppure costretti a limitare le tavole alle due dimensioni. Gli antiprotoni di carica negativa scoperti da Segrè nel 1955 si accoppiano bene con i positroni (cioè gli antielettroni) e formano atomi di anti-idrogeno. In teoria potrebbe esistere un'intera anti-tavola di anti-elementi. Oltre a questa versione da *Attraverso lo specchio*, i chimici stanno esplorando altri territori, dove esistono forme di materia che potrebbero dar vita a strani «elementi» in numero di centinaia se non di migliaia.

Il primo esempio è dato dai superatomi. Si tratta di gruppi di atomi (tra gli otto e i cento) che hanno l'apparentemente magica capacità di imitare il comportamento di altre sostanze. Per esempio, con tredici atomi di alluminio messi insieme in modo appropriato si riesce a simulare perfettamente il bromo, tanto che le due entità sono indistinguibili dal punto di vista delle reazioni chimiche. Ciò accade nonostante il superatomo sia tredici volte più grande dell'atomo singolo e nonostante l'alluminio non abbia nulla a che vedere con il bromo, elemento puzzolente con cui si producono i gas lacrimogeni. Altre combinazioni di alluminio riescono a imitare gas nobili, semiconduttori, il calcio e vari altri elementi situati in quasi tutte le regioni della tavola periodica.

Ecco come stanno le cose. Gli atomi si dispongono a formare un poliedro, e ognuno di loro si comporta come un protone o un neutrone del superatomo. Gli elettroni si mettono in comune e orbitano attorno a questa massa collettiva, formando uno stato della materia che viene spiritosamente chiamato «jellium» (da *jelly*, «marmellata»). A seconda del tipo di poliedro, cioè del numero di spigoli, il superatomo avrà un numero maggiore o minore di elettroni da utilizzare nelle reazioni con altre sostanze. Se ne mette a disposizione sette, si comporta come il bromo o un altro alogeno. Se ne ha quattro, agisce come il silicio o un altro suo parente chimico. Anche il sodio è in grado di formare superatomi e imitare altri elementi. E ci sono validi motivi per ritenere che questa proprietà sia più diffusa o addirittura universale: tutti gli elementi possono imitarne altri, in un gioco di scatole cinesi alla Borges. Queste scoperte stanno obbligando i ricercatori a costruire tavole periodiche parallele per classificare le nuove specie, tavole che si sovrappongono allo scheletro di base come i fogli trasparenti delle tavole anatomiche.

Per quanto strani, i superatomi per lo meno somigliano alla materia ordinaria. Ciò non si può certo dire a proposito della seconda modalità con cui siamo in grado di ampliare il dominio della tavola periodica: i punti quantici. Si tratta in un certo senso di atomi virtuali, olografici, che seguono comunque le leggi della meccanica quantistica.

Molti elementi possono formare i punti quantici, ma il più studiato è l'indio, una sostanza argentea parente dell'alluminio, che vive al confine tra metalli e semiconduttori.

La costruzione di un punto quantico inizia mettendo insieme una minuscola torretta, fatta di strati analoghi a quelli geologici: partendo dal fondo troviamo un semiconduttore, un isolante (di solito ceramica), l'indio, un altro strato di isolante più spesso e un cappello di metallo in cima. Poi si applica una corrente per spostare elettroni dal basso in alto; questi dovrebbero fermarsi di fronte all'isolante, ma se lo strato è abbastanza sottile un elettrone riesce ad aggirarlo grazie a una strana magia quantistica detta «effetto tunnel» (possibile perché le particelle, ricordiamo, sono anche onde).

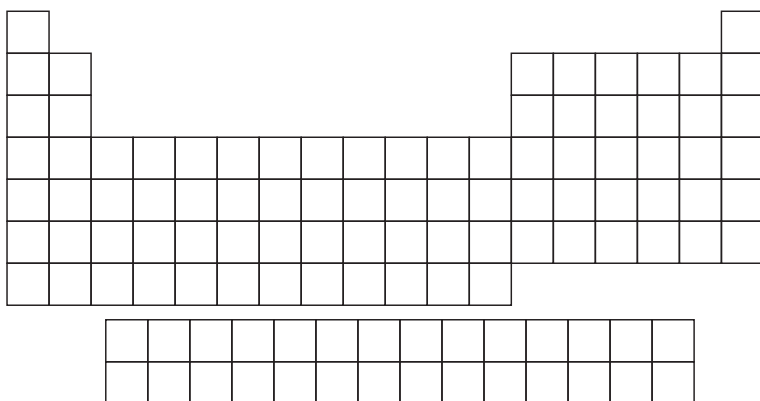
A questo punto si interrompe la corrente, e l'elettrone rimane intrappolato nell'indio. Questo materiale gli lascia abbastanza spazio per passare tra un atomo e l'altro, ma non troppo: la particella va in giro libera senza farsi catturare. Se lo strato di indio è abbastanza sottile, i suoi atomi tutti insieme diventano una specie di organismo simbiotico che si comporta come un unico atomo, dotato di un elettrone in comune. Se aggiungete altri elettroni, si disporranno con spin appropriati negli equivalenti di superorbitali e superlivelli energetici. È davvero molto inquietante, sembra quasi di avere per le mani un condensato di Bose-Einstein senza prendersi il disturbo di raffreddare il tutto a un milionesimo di grado sopra lo zero assoluto. E non si tratta di un esercizio accademico, perché i punti quantici stanno mostrando un grande potenziale applicativo, soprattutto nei computer quantistici di nuova generazione. Grazie a questa tecnica è possibile controllare i singoli elettroni e usarli per fare calcoli, in modo assai più veloce e pulito di quel che accade ora, con miliardi di particelle che passano attraverso i semiconduttori, secondo la stessa tecnica inventata cinquant'anni fa da Jack Kilby.

E neppure la tavola periodica sarà più la stessa. I punti quantici hanno forma appiattita (in inglese si chiamano anche *pancake atoms*, «atomi frittella») e i loro livelli energetici sono diversi da quelli consueti. Di conseguenza, la nuova tavola periodica costituita da questi neo-atomi sembra as-

sai peculiare. È più stretta, perché non vale più la regola dell'ottetto; gli elettroni riempiono i livelli più velocemente e ci sono meno elementi tra un gas nobile e l'altro. I punti quantici più reattivi formano comunque legami tra di loro, creando... e chi lo sa? Non sono come i superatomi, non si comportano in modo analogo a nessun elemento naturale.

Nonostante tutto, ci sono pochi dubbi sul fatto che la tavola periodica di Seaborg, con le sue file e le sue torri e le terre rare in fondo, simili a un fossato che protegge il castello, sarà ancora utilizzata nella didattica della chimica dalle prossime generazioni, visto quanto è facile da costruire e da imparare. Però è un peccato che gli editori di manuali non la affianchino con altre versioni più suggestive, magari tridimensionali: potrebbero tenere la tavola tradizionale in seconda di copertina, all'inizio, e mettere in fondo un modello con forme inconsuete, che si piegano a legare elementi apparentemente distanti e creano immagini intuitive che aiutano a capire certe proprietà. Sarebbe bello se esistesse un'organizzazione senza scopo di lucro che si prefiggesse di sperimentare nuovi formati didattici di tavole periodiche, progettate secondo ogni principio che si possa immaginare. La tavola che si usa oggi ha fatto molto bene il suo dovere, ma penso sia importante per il genere umano (almeno, per alcuni suoi rappresentanti) ripensarla e ricrearla in forme nuove. E se un giorno gli alieni dovessero davvero atterrare, mi piacerebbe che rimanessero impressionati dalla nostra ingegnosità. Magari riconoscerrebbero qualche forma familiare nella nostra collezione di tavole.

O forse la cara vecchia griglia di righe, colonne e torrette li conquisterà con la sua meravigliosa e pura semplicità. E forse, nonostante i tanti modi alternativi di sistemare gli elementi a loro noti, nonostante la loro esperienza con superatomi e punti quantici, ci vedranno qualcosa di nuovo. Mentre spieghiamo loro come leggere le varie caselle, faranno un fischio (o chissà cos'altro) di ammirazione e rimarranno attoniti nel vedere tutta la conoscenza che noi umani siamo riusciti a riassumere in una semplice tavola periodica degli elementi.



NOTE

INTRODUZIONE

1. E anche termologia. La campana a morto dell'alchimia suonò gli ultimi rintocchi il 26 dicembre 1759, quando due scienziati russi, nel tentativo di raffreddare il più possibile una mistura di neve e vari acidi, scoprirono per caso che il mercurio nel loro termometro si era ghiacciato. Per la prima volta si osservava Hg in forma solida, il che rendeva il fluido immortale così amato dagli alchimisti una sostanza ordinaria come tante altre. Di recente il mercurio è diventato protagonista della vigorosa (quanto del tutto insensata) campagna di protesta contro i vaccini, che secondo alcuni attivisti statunitensi sono inutili e pericolosi.

1. LA GEOGRAFIA E IL DESTINO

1. La prima prova dell'esistenza dell'elio fu scoperta nel 1868: una riga spettrale inspiegabile comparve nella regione del giallo durante una eclisse (da cui il nome *helios*, dal greco «sole»). L'elemento fu isolato sulla superficie terrestre solo nel 1895, grazie a complesse manipolazioni su alcune rocce (si veda il cap. 17). Si pensò allora che l'elio fosse presente solo in tracce sul nostro pianeta, fino a quando nel 1903 ne fu trovata una notevole quantità dentro una miniera del Kansas. I minatori avevano cercato di ac-

cendere i gas che fuoriuscivano da uno sfiatatoio nel terreno e si erano stupiti del fatto che non fosse infiammabile.

2. È opportuno sottolineare che gli atomi sono per la maggior parte vuoti. L'ha detto bene Allan Blackman, chimico dell'Università di Otago in Nuova Zelanda, che in un articolo apparso il 28 gennaio 2008 sull'«Otago Daily News» ha scritto: «Prendiamo l'iridio, l'elemento più denso a noi noto; una palla da tennis fatta di questo materiale peserebbe più di 3 chilogrammi... Ora supponiamo di riuscire a compattare i nuclei in modo da eliminare tutto o quasi lo spazio vuoto... Una palla da tennis composta da soli nuclei di iridio avrebbe l'incredibile peso di 7000 miliardi di tonnellate». A mo' di nota nella nota, osserviamo che non siamo proprio sicuri che l'iridio sia l'elemento più denso, visto che la sua densità è talmente simile a quella dell'osmio che anche gli specialisti fanno fatica a distinguerli. Negli ultimi anni si sono passati lo scettro più volte; mentre scrivo pare che sia in testa l'osmio.

3. Per una biografia più completa di Lewis e Nernst (oltre che di molti altri personaggi, come Linus Pauling e Fritz Haber) consiglio caldamente il libro di Patrick Coffey, *Cathedrals of Science: The Personalities and Rivalries That Made Modern Chemistry*, Oxford University Press, Oxford, 2008. È una storia degli anni più importanti nella chimica moderna, tra il 1890 e il 1930, scritta con un occhio di riguardo alle personalità dei protagonisti.

4. Ricordo qui altri tre fatti.

1) Buona parte delle nostre conoscenze sull'alchimia e l'antimonio provengono da un libro del 1604, *TriumphWagen Antimonii* («Il carro trionfale dell'antimonio») di Johann Thölde. Per fare pubblicità al suo libro (di cui era pure editore) Thölde sosteneva che si trattava in realtà della traduzione di un testo più antico, scritto nel 1450 dal monaco Basilio Valentino. Quest'ultimo, per timore di essere denunciato come eretico, aveva nascosto il manoscritto dentro una colonna del monastero, dove era rimasto fino a quando una «miracolosa saetta» aveva spaccato la pietra, permettendo a Thölde di recuperare l'opera.

2) Anche se in genere l'antimonio era considerato un elemento ermafrodita, per alcuni alchimisti era l'essenza stessa della femminilità. Ebbe la meglio questa seconda corrente, tanto che il simbolo dell'elemento ♀ passò a indicare il sesso femminile in generale.

3) Negli anni Trenta del secolo scorso, in una povera regione della Cina si pensò di sfruttare le poche risorse a disposizione e di

coniare monete di antimonio. Ma questo è un elemento tenero, friabile e leggermente tossico, dunque pochissimo indicato per una moneta. Il governo le ritirò quasi subito. Oggi questi oggetti, che in origine valevano meno di un centesimo, si scambiano tra collezionisti a suon di migliaia di dollari.

2. FRATELLI DI SANGUE E PECORE NERE: LA GENEALOGIA DEGLI ELEMENTI

1. Altri leggono semplicemente «in modo onorabile». L'anagramma in questione è *Hi ludi, F. Baconis nati, tuiti orbi*, cioè «queste opere teatrali, frutto di F. Bacone, sono serbate per il mondo».

2. Sui «Chemical Abstracts» si sono stampate altre parole lunghe, il che ha generato un po' di confusione. Molti ritengono che il record sia proprio quello del mosaico del tabacco, vale a dire $C_{785}H_{1220}N_{212}O_{248}S_2$, ma non pochi sono convinti che spetti invece alla molecola detta «subunità alfa della triptofano sintasi», parente di quel triptofano che secondo una credenza diffusa causa sonnolenza a chi mangia il tacchino (non è vero, è una leggenda metropolitana). La descrizione esplicita di questa proteina, dalla formula $C_{1289}H_{2051}N_{343}O_{375}S_8$, richiede 1913 lettere, più di una volta e mezzo quelle necessarie per il mosaico del tabacco, e secondo alcune fonti (come certe edizioni del *Guinness dei primati*, il sito www.urbandictionary.com e il *Mrs. Byrne's Dictionary of Unusual, Obscure, and Preposterous Words*) a lei spetta il record di parola più lunga. Ma dopo aver passato molte ore nella penombra della Biblioteca del Congresso a scartabellare i «Chemical Abstracts», posso dire di non averne trovato traccia: la formula del triptofano non è mai stata scritta per esteso. Per controllo mi sono letto anche l'articolo originale in cui si annunciava la scoperta della struttura chimica di questa molecola (non compreso nei «Chemical Abstracts») e ho visto che gli autori hanno usato una forma abbreviata per la sequenza degli aminoacidi. Dunque, per quanto ne so il nome completo non è mai apparso in una pubblicazione a stampa, e forse per questo motivo le ultime edizioni del *Guinness dei primati* non lo indicano più come parola record.

Sono invece riuscito a scovare ben due occorrenze in forma completa del mosaico del tabacco: pagina 976F in *Chemical Abstracts Formula Index, Jan.-June 1964* (un volume dalla copertina marroncina

che elenca tutte le formule comparse nei «Chemical Abstracts» tra gennaio e giugno 1964) e pagina 6717F in *Chemical Abstracts 7th Coll. Formulas, C₂₃H₃₂Z*, 56-65, 1962-1966 (altro volume di indici). In entrambi i casi si tratta di compendi dei lavori pubblicati dalla rivista tra le date indicate nel titolo; dunque la parola più lunga è stata stampata una prima volta nel 1964 e una seconda nel 1966, non nel 1972, come a volte si legge in giro (soprattutto in rete).

Non è finita: l'articolo che descriveva la struttura del triptofano uscì nel 1964, dunque è indicizzato nel secondo dei due volumi citati, insieme con altre molecole dotate sicuramente di molti più C, H, N, O e S del mosaico del tabacco. Dunque perché non fu stampata la descrizione per esteso? Perché nel 1965 la Chemical Abstracts Service, azienda dell'Ohio che si occupava di raccogliere e organizzare tutti questi dati, stabilì nuove regole per la denominazione delle nuove sostanze, che scoraggiavano apertamente la produzione di mostri su cui cavarsi gli occhi. E allora perché nel volume del 1966 c'è ancora il mosaico del tabacco per esteso? Avrebbe dovuto essere ridotto, ma per qualche motivo fu tramandato così. Inoltre, l'articolo originale del 1964 era in tedesco; però ai nostri fini osserviamo che «Chemical Abstracts» è una pubblicazione in inglese, un'opera di riferimento nella gloriosa tradizione del dizionario di Samuel Johnson e dell'*Oxford English Dictionary*, e che la parola non fu stampata per capriccio ma per motivi scientifici. Dunque conta.

Meno male.

Approfitto di queste righe per ringraziare Eric Shively, Crystal Poole Bradley e in special modo Jim Corning della Chemical Abstracts Service. Non erano tenuti a rispondere alle mie strambe domande («Salve, sto cercando la parola più lunga della lingua inglese e non sono sicuro che sia questa qui...»), però l'hanno fatto.

Osservo *en passant* che il mosaico del tabacco fu il primo virus mai scoperto e anche il primo di cui si precisò forma e struttura in modo rigoroso. Tra le ricerche più importanti al proposito dobbiamo ricordare quelle di Rosalind Franklin, la specialista di cristallografia che generosamente e incautamente fornì i dati dei suoi esperimenti a Watson e Crick (si veda il cap. 8). E l'alfa che specifica il triptofano è frutto del lavoro di Linus Pauling e delle sue scoperte su come le proteine si ripiegano su sé stesse per assumere la forma corretta (anche in questo caso si veda il cap. 8).

3. Un gruppo di persone molto pazienti ha inserito in rete il nome per esteso della titina: occupa quarantasette pagine di un documento Word in corpo dodici (in Times New Roman) e spaziatura singola. Contiene più di 34 000 aminoacidi, con 43 781 oc-

correnze della «l», 30 710 della «y», 27 120 del gruppo «yl» e solo 9229 della «e».

4. Cito da un documentario della serie Frontline, trasmessa dalla PBS, intitolato «Processo agli impianti di silicio»: «Il contenuto in silicio degli organismi viventi decresce al crescere della loro complessità. Nella crosta terrestre il rapporto tra silicio e carbonio è 250:1, nell'humus scende a 15:1, è 1:1 nel plancton, 1:100 nelle felci e 1:5000 nei mammiferi».

5. Citato nel documentario *Transistorized!*, trasmesso dalla PBS.

6. Questa banca del seme, situata in California, aveva la denominazione ufficiale di «Archivio per la Scelta Germinale». Shockley è l'unico vincitore di Nobel ad aver ammesso pubblicamente di aver donato il suo seme, anche se il fondatore della banca, Robert K. Graham, sosteneva che altri l'avessero fatto.

7. Un'eccellente testo su Kilby e sulla tirannia dei numeri è T.R. Reid, *The Chip: How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution*, Simon & Schuster, New York, 1986. Nota divertente: un dj che usava come nome d'arte «Jack Kilby» nel 2006 ha fatto uscire un ed intitolato *Microchip EP*. Sulla copertina c'è una foto dell'ingegner Kilby molto in là negli anni. Tra i titoli dei pezzi ricordo *Neutronium*, *Integrated Circuit* e *Transistor*.

3. LE GALAPAGOS DELLA TAVOLA PERIODICA

1. Oggi può sembrare incredibile che Mendeleev non credesse all'esistenza degli atomi, ma all'epoca non erano pochi i chimici che la pensavano come lui. Di fatto respingevano tutto ciò che non era visibile a occhio nudo; gli atomi erano astrazioni, entità forse utili per i calcoli teorici ma sicuramente fittizie.

2. La migliore trattazione della storia di questi sei chimici in corsa per arrivare alla prima classificazione sistematica degli elementi è in Eric Scerri, *The Periodic Table*, Oxford University Press, Oxford, 2006. Ricordiamo qui tre di coloro che in genere sono considerati i co-inventori della tavola periodica.

Il geologo Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois, secondo Scerri, «fece il passo più importante, [scoprendo che] le proprietà degli elementi sono funzioni periodiche dei loro pesi atomici ben sette

anni prima di Mendeleev». De Chancourtois concepì il suo modello di tavola a forma di elica, simile a una vite. Le sue chance di essere riconosciuto come il primo scopritore furono compromesse quando l'editore gli comunicò che non capiva come si potesse riprodurre su carta il suo schema per mostrare tutti gli elementi. Dopo vari tentativi, alla fine si arrese e stampò l'articolo senza la figura; un bel pasticcio: provate a immaginare come sia possibile capire la tavola periodica senza averla davanti. Comunque, la candidatura di de Chancourtois a fondatore del sistema periodico fu portata avanti dal compatriota Lecoq de Boisbaudran (forse anche perché costui detestava Mendeleev).

A William Olding, chimico inglese di buon livello, pare proprio che non sia arrisa la fortuna. Intuì molte cose giuste sulla tavola periodica ma il suo nome è oggi praticamente ignorato. Forse perché all'epoca era impegnato su molti fronti scientifici e amministrativi, al contrario di Mendeleev che era ossessionato dalla tavola e non si occupava d'altro. Un suo errore fu quello di credere che il periodo degli elementi (il numero che intercorre prima che riappaia una certa proprietà) fosse sempre otto, mentre oggi sappiamo che è vero solo nelle prime file: a causa degli orbitali *d*, la terza e quarta fila hanno periodo diciotto, e a causa degli orbitali *f*, la quinta e sesta fila hanno periodo trentadue.

Gustavus Hinrichs, tedesco naturalizzato americano, era considerato dai contemporanei un pazzoide, oltre che un genio in anticipo sui tempi. Diede alle stampe più di mille articoli scientifici in quattro lingue e fu un pioniere della classificazione degli elementi tramite la spettrografia messa a punto da Bunsen. Si dilettava anche di numerologia. Il suo modello di tavola periodica, in cui molti elementi sono al posto giusto, era anch'esso a forma di spirale. Per dirla con Scerri, «la produzione scientifica di Hinrichs è così peculiare e labirintica che oggi non siamo in grado di valutarla correttamente; sarebbe necessario studiarla in modo sistematico».

3. Per vedere un cucchiaino di gallio sciogliersi nell'acqua bollente, basta fare una ricerca su YouTube. Oliver Sacks descrive uno scherzo simile nel suo libro autobiografico *Zio Tungsteno*.

4. Per queste e altre informazioni sulla storia e geologia di Ytterby, oltre alla descrizione del suo attuale aspetto, mi sono avvalso della consulenza di Jim Marshall, chimico e storico della scienza presso la University of North Texas, che ringrazio per la generosità e pazienza. Mi ha anche spedito delle foto magnifiche. Ora sta girando il mondo per visitare i luoghi dove sono stati scoperti tutti gli elementi, e per questo motivo è capitato a Ytterby. Buona fortuna, Jim!

4. L'ORIGINE DEGLI ATOMI: «SIAMO FATTI DELLA MATERIA DELLE STELLE»

1. Uno di costoro, Hans Bethe, per aver ottenuto questo risultato vinse un premio in denaro, che usò per corrompere qualche funzionario della Germania nazista così da far fuggire sua madre (che, stranamente, si portò con sé anche la mobilia).

2. Un'interessante nota a margine: è stata identificata una classe stellare in grado di produrre l'elemento promezio, grazie a un meccanismo ancora ignoto. La più celebre rappresentante di questa classe è chiamata stella di Przybylski. La stranezza è data dal fatto che, mentre la fusione degli elementi avviene di solito all'interno delle stelle, il promezio deve essere creato alla superficie: è troppo radioattivo e vive troppo poco per poter sopravvivere al lento pellegrinaggio (lungo circa un milione di anni) dal nucleo di una stella agli strati esterni.

3. Eccole qua:

«Sono le stelle, le stelle sopra di noi, che governano la nostra condizione» (*Re Lear*, atto IV, scena III).

«La colpa, caro Bruto, non è delle stelle, ma nostra» (*Giulio Cesare*, atto I, scena II).

4. Per essere precisi, le stelle non formano ferro direttamente. Prima fabbricano nichel, l'elemento numero 28, fondendo due atomi di silicio, l'elemento 14. Ma il nichel è instabile, e per la maggior parte decade in ferro nel giro di pochi mesi.

5. Se avesse avuto una massa tredici volte più grande di quella attuale, Giove avrebbe potuto innescare la fusione del deuterio, versione «pesante» dell'idrogeno dotata di un neutrone e un protone. Poiché il deuterio è raro (una molecola ogni 6500 di idrogeno) si sarebbe trattato di una stella molto debole, ma una stella a tutti gli effetti. Per innescare la classica fusione dell'idrogeno, Giove avrebbe dovuto essere settantacinque volte più massivo.

6. Anche Marte non vuole essere da meno: sul pianeta rosso capita che «nevichi» perossido di idrogeno.

7. Altri due siderofili sono l'osmio e il renio, grazie ai quali si è potuta ricostruire la formazione della Luna a seguito di un impatto catastrofico tra la Terra primordiale e un asteroide o una cometa. Il nostro satellite ha aggregato i frammenti prodotti da quel cataclisma.

8. Nemesis puniva i peccati di *hybris* e impediva che le creature mortali sviluppassero un eccessivo orgoglio facendo fuori tutti quelli che minacciavano di diventare più potenti degli dèi. L'analogia con la stella compagna del Sole è presto detta: se una creatura terrestre, come un dinosauro, dava segni di evoluzione verso l'intelligenza, Nemesis la spazzava via prima che potesse mostrare tutto il suo potenziale.

9. Paradossalmente il moto complessivo del Sole, visto da lontano, ricorda i vecchi epicicli e deferenti, funzionanti come gli ingranaggi di un *tourbillon*, inventati dagli antichi per spiegare i moti planetari nei loro universi precopernicani con la Terra piazzata al centro (cosa che da molto tempo ormai si sa essere falsa). In modo simile alla «nucleina» di Miescher, riscoperta sotto forma di DNA, è un esempio della natura ciclica delle idee, anche di quelle scientifiche.

5. «À LA GUERRE COMME À LA GUERRE»

1. Per un approfondimento sulla storia della guerra chimica, soprattutto riguardo all'esercito americano nella prima guerra mondiale, si veda Charles E. Heller, *The American Experience, 1917-1918*, Combat Studies Institute, U.S. Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, Kansas, disponibile in rete all'indirizzo usacac.army.mil/cac2/cgsc/carl/resources/csi/Heller/HELLER.asp.

2. Tra le varie conseguenze della produzione industriale dell'ammoniaca, ricordo questa: il primo maser, precursore del laser, fu costruito da Charles Townes grazie all'emissione stimolata di un flusso di molecole di ammoniaca.

6. UN FINALE ESPLOSIVO (PER LA TAVOLA)

1. Urbain non fu l'unica vittima dell'abilità di Moseley: il suo cannone elettronico smontò anche la pretesa di Masataka Ogawa di aver scoperto l'elemento numero 43, da lui battezzato «nipponio» (si veda il cap. 8).

2. [I.R. Millikan, *Radiation and Atomic Structure*, in «Science», 45, 6 aprile 1917]. Per una descrizione della disastrosa conduzione della campagna che portò alla morte di Moseley, si veda Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*, Simon and Schuster, New York, 1986 [trad. it. *L'invenzione della bomba atomica*, Rizzoli, Milano, 1990]. In re-

altà, è un'opera che bisognerebbe leggere per intero, perché a mio avviso è la miglior storia della scienza del XX secolo finora scritta.

3. Nell'articolo del «Time» si trova anche questa perla relativa al nome da assegnare all'elemento: «Uno dei presenti caldeggiò “grovesio”, dal nome del tonitruante generale di corpo d'armata Leslie Groves, capo militare del Progetto Manhattan. Simbolo chimico: Grr».

4. Oltre al «modello Pac-Man», gli scienziati avevano avanzato anche l'ipotesi del «modello *plum cake*»: gli elettroni erano immersi nell'atomo come chicchi di uva passa negativi in un impasto positivo. Ruth-erford confutò questa teoria dimostrando l'esistenza di un nucleo vero e proprio. Dopo la scoperta della fissione, apparve il modello «a goccia», in cui i nuclei più grandi si rompevano come una goccia d'acqua che cadeva su una superficie piana, dividendosi in due. Le ricerche di Lise Meitner furono fondamentali in questo senso.

5. George Dyson, *Project Orion: The True Story of the Atomic Spaceship*, Allen Lane, London, 2002.

6. La citazione è tratta da Peter Louis Galison, *Image and Logic*, The University of Chicago Press, Chicago, 1997.

7. LA TAVOLA SI ALLUNGA, LA GUERRA FREDDA PURE

1. L'articolo, di E.J. Kahn Jr., fu pubblicato nel numero dell'8 aprile 1950.

2. Per saperne di più sulla scoperta degli elementi dal 94 al 110, e per conoscere meglio il personaggio, si vedano i libri autobiografici di Seaborg, in particolare *Adventures in the Atomic Age*, Farrar, Straus & Giroux, New York, 2001 (scritto in collaborazione con il figlio Eric). È un saggio interessante perché Seaborg fu al centro di molte importanti scoperte scientifiche ed ebbe un ruolo di primo piano in politica per parecchio tempo. In tutta onestà, però, devo dire che la prudenza dell'autore lo rende a tratti un po' insipido.

3. Nel 2007 la rivista «Time» inserì Noril'sk nella lista dei dieci luoghi più inquinati al mondo. L'articolo è disponibile in rete: www.time.com/time/specials/2007/article/0,28804,1661031_1661028_1661022,00.html.

4. In un mio articolo scritto nel giugno 2009 (S. Kean, *Periodic Discussions*, www.slate.com/id/2220300/) ho raccontato nei dettagli perché ci siano voluti tredici anni per accettare ufficialmente il copernicio nella tavola periodica.

5. Lo IUPAC ha approvato il 118 (<http://iupac.org/publications/pac/83/7/1485/>). Non ha ancora ufficializzato il flerovio, ma il 1/12/2011 ha pubblicato una raccomandazione ufficiale perché venga accolto [N.d.T.].

8. DALLA FISICA ALLA BIOLOGIA

1. Oltre a Segrè e Shockley, gli altri tredici scienziati in copertina erano: George Beadle, Charles Draper, John Enders, Donald Glaser, Joshua Lederberg, Willard Libby, Linus Pauling, Edward Purcell, Isidor Rabi, Edward Teller, Charles Townes, James Van Allen e Robert Woodward.

Per quanto riguarda il razzismo di Shockley, ecco la citazione: «William Shockley ha cinquant'anni e appartiene a quella minoranza di scienziati che si preoccupano di cercare applicazioni pratiche dei loro studi teorici. "Chiedersi quali ricerche siano pure e quali applicate è come chiedersi quanta percentuale di sangue negro abbia Ralph Bunche: conta solo il fatto che è un grand'uomo"». Ovviamente pensava che fosse un complimento, ma la frase suonava male anche allora.

Dall'articolo si deduce che all'epoca si era già consolidata la leggenda di Shockley come scopritore del transistor: «Entrato ai Bell Laboratories nel 1936, subito dopo la laurea al MIT, il fisico teorico Shockley fu parte del gruppo che trovò il modo di sfruttare praticamente quello che sembrava un semplice numero di scienza da salotto: l'uso di silicio e germanio in un apparato fotoelettrico. Insieme con i colleghi, Shockley vinse il premio Nobel per esser riuscito a trasformare un pezzo di germanio nel primo transistor, quel piccolo e obbediente cristallo che sta rapidamente sostituendo i tubi a vuoto e sostiene il boom dell'industria elettronica nazionale».

2. La carriera di Ida Noddack, nel complesso, non è immacolata. Fece parte del gruppo che identificò l'elemento 75, ma che commise un sacco di errori circa la scoperta del 43. Predispose la possibilità della fissione molto prima di chiunque altro, ma al tempo stesso si convinse che la tavola periodica fosse un inutile relitto del passato, perché la moltiplicazione degli isotopi la rendeva poco

significativa. Non è chiaro il perché, ma pensava davvero che gli isotopi fossero elementi distinti e cercò di convincere tutti a rifiutare il sistema periodico.

3. Emilio Segrè, *Enrico Fermi Physicist*, University of Chicago Press, Chicago, 1970 [trad. it. *Enrico Fermi, fisico: una biografia scientifica*, Zanichelli, Bologna, 1972, p. 79].

4. Pauling (con i colleghi Harvey Itano, S. Jonathan Singer e Ibert Wells) sottopose i globuli rossi agli effetti di un campo elettrico, scoprendo che le cellule sane e quelle malate si allineavano in direzioni opposte. Ciò significava che i due tipi di emoglobina avevano cariche opposte, il che poteva essere causato solo da differenze a livello atomico o molecolare. Segnalo qui che Francis Crick citò il lavoro di Pauling sull'anemia falciforme tra quelli che più l'avevano ispirato - e in effetti era proprio il tipo di biologia molecolare senza tanti fronzoli che piaceva a lui.

5. È interessante notare che oggi i biologi sembrano essere tornati, in un certo senso, alle concezioni del tempo di Miescher e a considerare le proteine l'alfa e l'omega della biologia. I geni hanno occupato un posto preminente per molto tempo e continueranno a farlo, ma oggi ci si è resi conto che da soli non possono essere causa di tutta la straordinaria complessità del vivente. Ci dev'essere dell'altro. La genomica è stata un campo di ricerca imprescindibile, ma oggi c'è più da scommettere sulla proteomica.

6. A dire il vero, questo celebre esperimento del 1952, condotto da Alfred Hershey e Martha Chase, non fu il primo a dimostrare che l'informazione genetica è portata dal DNA. L'onore spetta a Oswald Avery e al suo lavoro sui batteri del 1944. Anche se i suoi risultati gettavano luce sul vero ruolo del DNA, all'inizio non furono considerati validi. Nel 1952 la situazione era cambiata e molti cominciarono a crederci, ma l'esperimento di Hershey e Chase fu quello che convinse tutti, compreso Linus Pauling, in via definitiva. Avery, insieme con Rosalind Franklin, che senza volerlo disse a Watson e Crick che il DNA era un doppia elica, è spesso citato come esempio di ricercatore a cui fu ingiustamente negato il Nobel. Ma le cose non andarono precisamente così. Il premio per la scoperta del DNA fu attribuito solo nel 1962, anno in cui sia Avery sia Franklin non erano più in vita. Se non fossero morti, è probabile che almeno uno di loro avrebbe condiviso il Nobel con Watson e Crick.

7. Una raccolta di documenti relativi alla disputa tra Pauling, Watson e Crick si trova nell'ottimo sito della Oregon State University, dove sono archiviati centinaia di appunti e lettere. C'è anche una puntuale ricostruzione dei fatti, intitolata *Linus Pauling and the Race for DNA*: <http://osulibrary.oregonstate.edu/special-collections/coll/pauling/dna/index.html>.

8. Pauling era stato rimproverato dalla moglie Ava, famosa per le sue collere. Persuaso che solo lui avrebbe decifrato la doppia elica, in un primo tempo non si era impegnato troppo nei calcoli suscitando le ire di Ava: «Se il DNA era un problema così importante, perché non hai lavorato più sodo?». Eppure Pauling l'amava molto. Forse uno dei motivi per cui non lasciò mai il Caltech per trasferirsi all'allora più rinomata Berkeley erano le insistenti attenzioni che Robert Oppenheimer, celebre docente di quest'ultima università nonché capo del Progetto Manhattan, aveva riservato a sua moglie. La cosa l'aveva mandato su tutte le furie.

9. Un'altra tegola si abbatté su Segrè dopo la conquista del Nobel: fu infatti accusato (probabilmente in modo ingiusto) di aver rubato idee altrui mentre progettava l'esperimento che avrebbe portato alla scoperta dell'antiprotone. Segrè riconosceva di aver consultato, in accordo con Owen Chamberlain, il combattivo collega Oreste Piccioni circa la tecnica migliore per concentrare e dirigere i fasci di particelle tramite campi magnetici, ma sosteneva che i consigli di costui si erano rivelati poco pratici e dunque non l'aveva citato come coautore dell'articolo fondamentale. Piccioni aveva dato poi un contributo alla scoperta dell'antineutrone. L'assegnazione del Nobel a Segrè e Chamberlain nel 1959 contribuì a esacerbare gli animi, tanto che nel 1972 Piccioni intentò una causa civile, chiedendo 125000 dollari come risarcimento danni. Il giudice la rigettò per motivi non scientifici ma formali, visto che erano trascorsi più di dieci anni dai fatti.

Nel necrologio di Piccioni pubblicato dal «New York Times» il 27 aprile 2002 si legge: «Era capace di piombarti in casa per comunicare di aver avuto un'idea grandiosa» racconta William A. Wenzel, professore emerito al Lawrence Berkeley National Laboratory che lavorò all'esperimento degli antineutroni. «Oreste era un vulcano di idee: ne produceva decine al minuto. Alcune erano buone, altre no. Comunque sia, ho sempre pensato che fosse un buon fisico, e che abbia contribuito al successo del nostro esperimento».

9. LA BANDA DEGLI AVVELENATORI: «ITAI ITAI!»

1. Si muore di tallio ancora ai giorni nostri. Nel 1994 un gruppo di soldati russi di stanza in un vecchio arsenale risalente ai tempi della guerra fredda trovò un barattolo pieno di polvere bianca in cui era presente questo elemento. Sventatamente, senza preoccuparsi di sapere cosa fosse, la usarono come talco sui piedi e la mischiarono al tabacco; alcuni pare la inalassero come cocaina. Dopo qualche tempo tutti presentarono i sintomi di una misteriosa malattia, e qualcuno ne morì. Storia ancora più triste: nel 2008 morirono due bambini, figli di piloti militari iracheni, che avevano mangiato una torta di compleanno con tracce di tallio. La causa della contaminazione non è chiara, ma si sa che Saddam Hussein usava questo elemento durante la dittatura.

2. La storia di David Hahn fu ripresa dalla stampa più volte, ma la versione più completa è Ken Silverstein, *The Radioactive Boy Scout*, in «Harper's», novembre 1998. L'articolo di Silverstein divenne poi un libro con lo stesso titolo.

10. PRENDA DUE ELEMENTI E MI CHIAMI DOMATTINA

1. Oltre a rovistare nella cavità nasale di Brahe, l'archeologo in questione analizzò i resti dei baffi e vi trovò tracce di mercurio, probabile conseguenza delle sue ricerche alchemiche. Secondo la tradizione, Brahe morì a causa delle sue buone maniere. Una sera, mentre cenava (e beveva) in compagnia di qualche parente del re, ebbe l'impulso ad andare al bagno, ma si trattenne perché alzarsi da tavola sarebbe stato scortese nei confronti dei commensali di alto rango. Dopo qualche ora, giunto finalmente a casa, si accorse che non riusciva più a urinare. Morì con la vescica scoppiata dopo undici giorni di atroci dolori. La storia è probabilmente apocrifia, ed è assai più verosimile che l'avvelenamento da mercurio abbia a che fare con la sua dipartita.

2. Le monete da un centesimo, a partire dal 1982, sono fatte al 97,5 per cento di zinco e hanno un sottile rivestimento di rame, per rendere più sterile la parte a contatto con le dita (un tempo erano rame al 95 per cento). Le monete da cinque centesimi sono per il 75 per cento rame e per il resto nichel. Quelle da dieci, venticinque e cinquanta centesimi contengono il 91,67 per cento di rame, il resto è nichel. La moneta da un dollaro (escluse le serie speciali di metalli preziosi) è infine così composta: 88,5 per

cento rame, 6 per cento zinco, 3,5 per cento manganese e 2 per cento nichel.

3. Curiosità: alcune creature (nessuno sa perché) utilizzano il vanadio al posto del ferro nel sangue, che a seconda della specie assume colore rosso, verde mela o blu. È anche un ottimo additivo per l'acciaio (come molibdeno e tungsteno, si veda il cap. 5), che rende più resistente senza appesantirlo. Pare che Henry Ford una volta abbia detto che senza il vanadio non sarebbero esistite le automobili.

4. La metafora del riempimento dell'autobus è una delle più note in chimica, ed è chiara e precisa. L'idea venne a Wolfgang Pauli, scopritore nel 1925 di questo principio, noto appunto come «principio di esclusione di Pauli».

5. Oltre al gadolinio, un altro elemento che promette bene nella cura del cancro è l'oro. L'oro assorbe la radiazione infrarossa che attraversa il corpo e diventa di conseguenza molto caldo. Inserendo particelle ricoperte di questo elemento nelle cellule tumorali possiamo bruciarle senza danneggiare il tessuto circostante. Il metodo in questione fu inventato da John Kanzius, imprenditore e ingegnere affetto da linfoma che fu sottoposto a trentasei cicli di chemioterapia a partire dal 2003. Spossato e affetto da nausea, oltre che depresso alla vista dei bambini ammalati che incrociava in ospedale, pensò che doveva esserci per forza un metodo migliore di quello. Una notte gli balenò l'idea di usare particelle metalliche riscaldate per combattere il tumore, e si mise a costruire un prototipo con le pentole e le teglie che aveva in casa. Fece la prima prova con un hot dog: vi iniettò a un'estremità una soluzione con vari metalli disciolti e poi lo sottopose a un'intensa sorgente di onde radio. Dopo poco vide che la parte trattata si cuoceva, mentre l'altra rimaneva fredda.

6. Nel numero di maggio 2009 della rivista «*Smithsonian*» fu pubblicato un articolo intitolato *Honorable Mentions: Near Misses in the Genius Department*, in cui si raccontava la storia di Stan Lindberg, un audace chimico sperimentale che si era prefisso il compito di ingerire tutti gli elementi della tavola periodica. «Oltre a detenere il record americano per i livelli di mercurio nel sangue,» si legge «[Lindberg] ha sperimentato tre settimane di allucinazioni da itterbio e le ha descritte in prima persona in un racconto intitolato *Fear and Loathing in the Lanthanides* [Paura e delirio tra i lantanidi], ormai un piccolo classico nel suo genere». Dopo mezz'ora di

frenetiche ricerche sulla rete, mi sono reso conto che era tutta una presa in giro: «Paura e delirio tra i lantanidi» non esiste, e il pezzo su «Smithsonian» era pura finzione. (Anche se non si può mai dire: gli elementi sono strane creature, e forse l'itterbio è davvero una droga da sballo).

7. Nel 2003 la rivista «Wired» pubblicò un breve articolo sul diffondersi in rete della «truffa della cura all'argento». Ecco il passaggio fondamentale: «E intanto i medici in tutto il Paese riscontrano un aumento dei casi di argina. “Negli ultimi diciotto mesi ho avuto in cura sei pazienti con avvelenamento da argento causato da supposti integratori alimentari” dice il dottor Bill Robertson, direttore del Centro Veleni di Seattle. “Finora, in cinquant'anni di carriera non ne avevo mai visto uno”».

8. È un po' esagerato dire che a livello molecolare siamo tutti mancini. Anche se le nostre proteine sono in effetti levogire, tutti i carboidrati e il DNA sono invece destrorigiri. A ogni modo, l'idea di fondo è valida: in diversi contesti, l'organismo accetta e metabolizza solo molecole con una specifica chiralità. Le nostre cellule non sarebbero in grado di capire i messaggi di un DNA levogiro o di nutrirsi con zuccheri levogiri.

9. Il ragazzo si chiamava Joseph Meister e da adulto trovò impiego come custode proprio all'Istituto Pasteur. La sua fine è tragica ed eroica allo stesso tempo. Nel 1940 lavorava ancora lì quando un ufficiale dell'esercito tedesco invasore gli ordinò di aprire la cripta dove riposavano i resti di Pasteur, di cui voleva vedere le ossa. Meister preferì suicidarsi pur di non essere complice di tale profanazione.

10. La I.G. Farbenindustrie (IGF), datore di lavoro di Domagk, sarebbe diventata tristemente famosa per la produzione dello Zyklon B, un insetticida che i nazisti utilizzarono nei campi di concentramento (si veda il cap. 5). Subito dopo la seconda guerra mondiale l'azienda fu spezzettata in vari tronconi e molti suoi dirigenti (come per esempio Cari Krauch) furono processati a Norimberga per il loro ruolo di supporto nella guerra di aggressione e nel maltrattamento di prigionieri civili e militari. Tra le aziende figlie della IGF ci sono la Bayer e la BASF.

11. L'universo sembra essere chirale a vari livelli, da quello atomico a quello degli ammassi galattici. Il decadimento beta del cobalto 60, per esempio, è un processo asimmetrico. Secondo alcuni

dati ancora da confermare, pare che le galassie seguano una traiettoria a spirale e ruotino in senso antiorario dalle parti del polo nord galattico, e in senso orario dalle parti del polo sud.

12. Di recente, un gruppo di ricercatori ha ripercorso la storia del talidomide e ha scoperto perché i suoi terribili effetti collaterali sono sfuggiti alla sperimentazione clinica. Per complesse ragioni chimiche, questa molecola non causa anomalie congenite nei topi, e la Grünenthal, l'azienda che lo mise in commercio, per negligenza non fece seguire ai test sugli animali un serio protocollo di test sull'uomo. Negli Stati Uniti il talidomide non fu mai approvato per la somministrazione alle gestanti grazie all'allora direttrice della Food and Drug Administration, Frances Oldham Kelsey, che non cedette alle pressioni delle lobby. Per una strana ironia della storia, negli ultimi anni il talidomide è tornato alla ribalta come cura per la lebbra, e pare che sia molto efficace. Si è dimostrato anche un buon anticancro, perché limita la crescita dei tumori inibendo la formazione di nuovi vasi sanguigni – proprietà che era alla base dei suoi terribili effetti collaterali, perché agiva allo stesso modo sugli embrioni. Certo questo farmaco deve ancora fare parecchia strada per essere completamente riabilitato. Quasi tutti gli Stati vietano severamente la sua somministrazione a donne in età fertile, per scongiurare rischi nel caso di gravidanza.

13. Knowles riuscì a gonfiare la molecola rompendo un «legame doppio». Ecco di cosa si tratta: il carbonio in questa configurazione ha come tre «braccia» che fuoriescono dall'atomo: due corrispondono a legami singoli e uno al legame doppio (gli elettroni sono sempre otto, ma sono messi in comune tra i vari bracci). In questo caso il carbonio forma solitamente molecole «triangolari», perché i tre bracci per stare il più lontano possibile tra di loro si dispongono a triangolo, separati da angoli di 120° . Quando un doppio legame si rompe, i bracci diventano quattro e si dispongono secondo una configurazione non più piana ma solida, a tetraedro (i vertici di un tetraedro sono separati da angoli di $109,5^\circ$, rispetto ai 90° del cubo). Il braccio aggiuntivo può saltar fuori in due direzioni, e questa possibilità di scelta rende la molecola chirale.

11. COME GLI ELEMENTI CI INGANNANO

1. Un mio professore all'università mi ha raccontato una storia da brividi: la morte a Los Alamos negli anni Sessanta di un grup-

po di suoi colleghi che lavorava a un acceleratore, in circostanze molto simili a quelle della NASA. Dopo questa tragedia, come misura di sicurezza in tutti gli apparati dove lavorava fece aggiungere all'aria una miscela al 5 per cento di anidride carbonica. Lascio la parola a lui: «Per inciso, misi involontariamente alla prova la nuova mistura circa un anno dopo, quando uno dei miei studenti fece esattamente lo stesso errore [cioè si dimenticò di pompare fuori i gas inerti per far entrare l'aria con l'ossigeno]. Entrai nella camera a pressione ancora piena... o meglio, in realtà ci provai: avevo appena fatto passare le spalle oltre il pertugio quando mi sentii malissimo, ansimavo sotto gli ordini del sistema nervoso che mi imponeva di respirare più in fretta». Nell'aria normalmente la CO_2 rappresenta lo 0,03 per cento, dunque inalare quei gas significa assumerne una quantità maggiore di 167 volte.

2. Con suo grande imbarazzo, nel 1999 il governo americano ammise di aver esposto con piena cognizione di causa ventiseimila ricercatori e tecnici ad alte dosi di berillio in polvere. Centinaia di loro hanno sofferto di berilliosi cronica e malattie correlate. Molti tra questi malcapitati lavoravano nei settori della Difesa, dell'aerospaziale e dell'energia atomica, settori di importanza strategica che per il governo non dovevano essere rallentati dalla ricerca di alternative al berillio o dall'implementazione di misure di sicurezza. Il 30 marzo 1999 il «Pittsburgh Post-Gazette» dedicò al caso un articolo d'inchiesta in prima pagina, intitolato *Decades of Risk*. Uno degli strilli la dice lunga sull'accaduto: *Deadly Alliance: How Industry and Government Chose Weapons over Workers* («Un patto mortale: come l'industria e il governo hanno preferito le armi ai lavoratori»).

3. Secondo i ricercatori del Monell Chemical Senses Center di Filadelfia, gli esseri umani non hanno solo recettori per il dolce, l'acido, il salato, l'amaro e *Yumami*, ma anche per il calcio. Li hanno trovati senza ombra di dubbio nei topi e hanno verificato sperimentalmente che alcuni individui si accorgono della presenza del calcio disciolto in acqua. Di cosa sa questo elemento? Nelle parole del capo progetto Michael Tordoff, è «“calcioso”, non mi viene in mente un termine migliore. C'è una componente amara, forse anche un po' acida. Ma le sensazioni sono più complesse, proprio perché esistono recettori specifici per questo elemento».

4. Anche i recettori dell'acido possono spegnersi. Sono programmati per rispondere soprattutto allo ione idrogeno H^+ , ma come si è dimostrato nel 2009 reagiscono anche all'anidride carbonica.

(La CO_2 si combina con H_2 e forma un acido debole, H_2CO_3 , quindi è forse per questo motivo che si attivano). Se ne accorsero i medici quando alcuni pazienti raccontarono di non sentire più il sapore delle bevande gassate dopo aver assunto certi farmaci — una specie di «sindrome dello champagne sgasato».

12. ELEMENTI POLITICI

1. L'uomo probabilmente non sarebbe vissuto a lungo. È impressionante leggere nelle memorie di Rutherford il racconto di una sua visita ai Curie, in cui vide Pierre eseguire uno dei suoi affascinanti esperimenti con campioni di radio che illuminavano il buio. Ma in quella fatata luce verdastra, l'attento Rutherford vide che le mani del collega erano gonfie e coperte di piaghe, tanto che faceva fatica ad afferrare e manipolare le provette.

2. Una eccellente biografia dei Curie si trova in Sheila Jones, *The Quantum Ten*, Oxford University Press, New York, 2008, libro che racconta la sorprendente storia, piena di litigi e lotte tra fazioni, della nascita della meccanica quantistica attorno al 1925.

3. La vittima più famosa di questa folle moda fu il magnate dell'acciaio Eben Byers, che bevve una bottiglia di Radithor al giorno per quattro anni, nella convinzione di raggiungere una specie di immortalità. Invece ne ebbe il fisico debilitato e morì di cancro. Byers non era più matto degli altri, aveva solo il denaro che gli permetteva di bere tutta l'acqua radioattiva che voleva. Il «Wall Street Journal» titolò così il suo necrologio: *The Radium Water Worked Fine Until His Jaw Came Off* («L'acqua al radio sembrava funzionare, fino a quando non gli cadde la mascella»).

4. Per la vera storia dell'afnio si veda Eric Scerri, *The Periodic Table*, cit., un libro completo e assai ben documentato sulla nascita e il completamento della tavola periodica, che racconta anche le idee e le convinzioni, a volte bizzarre, dei protagonisti della chimica.

5. Oltre a berla, Hevesy fece esperimenti con l'acqua pesante su dei pesci rossi, che sterminò in gran numero.

Un altro scienziato a utilizzare l'acqua pesante per i suoi studi fu Gilbert Lewis, sempre alla disperata ricerca di una scoperta da Nobel. Nel 1931 Harold Urey isolò il deuterio, cioè l'idrogeno pesante con un neutrone extra, e tutta la comunità scientifica si rese conto che

quella era davvero un'impresa da premiare a Stoccolma (ivi compreso Urey stesso: dopo una carriera fino ad allora non memorabile, che aveva attirato le ire dei suoceri, il giorno in cui scoprì il deuterio tornò a casa e disse alla moglie: «Tesoro, i tempi grami sono finiti»).

Lewis decise di salire sul carro di un sicuro vincitore e di studiare gli effetti dell'acqua pesante sulla materia organica. Non fu l'unico ad avere l'idea, ma la sua fortuna era di trovarsi a Berkeley, dove il laboratorio di fisica guidato da Ernest O. Lawrence possedeva, per pura coincidenza, la più cospicua riserva di acqua pesante al mondo (qualche decina di grammi), sottoprodotto di anni di esperimenti sulla radioattività. Lewis implorò Lawrence di cedergliela per purificarla e questi acconsentì, a condizione che fosse restituita alla fine degli esperimenti, perché avrebbe potuto tornare utile.

Lewis non mantenne la promessa. Ottenuta la preziosa acqua, decise di somministrarla a un topo e osservare le conseguenze. L'acqua pesante ha una strana proprietà: si comporta come l'acqua di mare, nel senso che più se ne beve e più mette sete, una sete tremenda, perché il nostro organismo non è in grado di metabolizzarla. Hevesy ne ingerì piccole tracce, dunque il suo corpo quasi non se ne accorse, ma il topo se la bevve tutta e morì dopo poche ore. Ammazza in tal modo una bestiolina non era certo un esperimento degno del Nobel, senza contare che Lawrence andò su tutte le furie quando seppe che la sua preziosa acqua pesante era finita nell'urina di uno schifoso roditore.

6. Stefan Fajans, figlio di Kazimierz e oggi professore emerito di endocrinologia all'Università del Michigan, è stato così gentile da spedirmi una mail con queste informazioni: «Nel 1924 avevo solo sei anni, ma ricordo di aver sentito mio padre, se non allora negli anni a seguire, raccontare certi aspetti della storia del Nobel. Che un giornale svedese abbia pubblicato una sua foto con la didascalia "K. Fajans, prossimo vincitore del premio Nobel" (non si sa se per la chimica o per la fisica) non è una leggenda ma un fatto documentato. Ricordo bene di averne visto una copia. Ricordo anche che nella foto (probabilmente scattata mesi prima) mio padre camminava di fronte a un certo edificio di Stoccolma, vestito in modo elegante ma non troppo, considerati i tempi... Mi raccontò che un membro potente del comitato si mise di traverso per motivi personali. Se sia un pettegolezzo o verità nessuno lo può dire, a meno di aver accesso ai verbali di quelle riunioni. Credo che siano segreti. So per certo che mio padre si aspettava di ricevere il Nobel e ne era stato informato da gente ben introdotta. Pensava che glielo avrebbero consegnato l'anno dopo... ma ciò non avvenne, come ben si sa».

7. La citazione proviene da questa eccellente ricostruzione della vicenda: Elisabeth Crawford, Ruth Lewin Sime e Mark Walker, *A Nobel Tale of Postwar Injustice*, in «Physics Today», settembre 1997.

8. Un nome proposto ha una sola occasione di apparire nella tavola periodica. Se qualcosa va storto, per esempio se l'elemento non è confermato o se lo IUPAC (l'organismo internazionale che governa la chimica) ha da ridire, il nome in questione finisce nella lista nera. Ciò a volte ha conseguenze soddisfacenti, come nel caso di Hahn, a volte disastrose: nessun elemento sarà mai chiamato «joliotio», perché questo è stato un candidato perdente per l'elemento 105. Forse, invece, «ghiorsio» avrà una chance, o magari «alghiorsio», anche se lo IUPAC non gradisce l'uso di nome e cognome: ha rifiutato infatti il «nielsbohrio» a favore del semplice «bohrio» per l'elemento 107, nonostante le proteste del team tedesco che l'aveva scoperto, secondo cui il bohrio è troppo simile al boro e al bario.

13. ELEMENTI COME DENARO

1. La scoperta di composti auriferi del tellurio nelle montagne del Colorado è ricordata dal toponimo di una cittadina mineraria, Telluride.

2. Facciamo chiarezza e distinguiamo tra termini spesso usati in modo intercambiabile. In genere si parla di «luminescenza» per ogni tipo di sostanza in grado di assorbire ed emettere luce. La «fluorescenza» è il processo qui descritto. La «fosforescenza» è simile alla fluorescenza: sono molecole che assorbono luce ad alta frequenza e la riemettono a bassa frequenza, e pertanto riescono a immagazzinare energia come una batteria e a illuminare anche a luce spenta. Come è facilmente intuibile, questi due fenomeni devono il loro nome al fosforo e al fluoro, i due elementi in cui tali proprietà sono state osservate per prime.

3. Secondo la cosiddetta legge di Moore, il numero di transistor in un microchip raddoppia in diciotto mesi, fatto che sorprendentemente si è dimostrato vero dagli anni Sessanta a oggi. Se la produzione di alluminio fosse cresciuta agli stessi ritmi, nel 1908 l'Alcoa ne avrebbe sfornate 180 tonnellate, non 80. Dunque il silicio, suo vicino di casa nella tavola periodica, ha fatto molto meglio.

4. Non tutte le fonti concordano sul patrimonio di Hall alla sua

morte, e 30 milioni è la stima più alta. A complicare le cose ci fu il fatto che la liquidazione dell'eredità fu completata solo quattordici anni dopo la morte. Un terzo del patrimonio fu lasciato all'Oberlin College.

14. ELEMENTI ARTISTICI

1. Sybille Bedford, *A Legacy*, Weidenfeld and Nicolson, London, 1956 [trad. it. *Il retaggio*, Adelphi, Milano, 2003, p. 50].

2. A proposito di passatempi, in un libro dedicato alle curiosità degli elementi non posso fare a meno di raccontare questa storia. L'anagramma che riproduco qui di seguito nel maggio 1999 ha vinto il primo premio nella categoria «Casi Speciali» in un concorso indetto dal sito anagrammy.com, ma per me avrebbe potuto vincere anche il titolo di anagramma del millennio. In entrambi i membri dell'uguaglianza ci sono trenta elementi: «hydrogen + zirconium + tin + oxygen + rhenium + platinum + tellurium + terbium + nobelium + chromium + iron + cobalt + carbon + aluminum + ruthenium + silicon + ytterbium + hafnium + sodium + selenium + cerium + manganese + osmium + uranium + nickel + praseodymium + erbium + vanadium + thallium + plutonium = nitrogen + zinc + rhodium + helium + argon + neptunium + beryllium + bromine + lutetium + boron + calcium + thorium + niobium + lanthanum + mercury + fluorine + bismuth + actinium + silver + cesium + neodymium + magnesium + xenon + samarium + scandium + europium + berkelium + palladium + antimony + thulium». Notevole, vero? (anche se l'abbondanza di «-ium» rende il compito un po' più facile) [fa eccezione l'alluminio: l'uso americano è *aluminum*, in luogo dell'inglese standard *aluminium*]. Ma la cosa davvero incredibile è che se sostituiamo a ogni elemento il suo numero atomico, l'equazione è sempre valida: $1+40+50+8+75+78+52+65+102+24+26+27+6+13+44+14+70+72+11+34+58+25+76+92+28+59+68+23+81+94=7+30+45+2+18+93+4+35+71+5+20+90+41+57+80+9+83+89+47+55+60+12+54+62+21+63+97+46+51+69=1416$. Secondo il suo creatore, Mike Keith, «questo è il doppio anagramma più lungo mai visto, non solo tra quelli che usano elementi chimici ma in generale, per quanto ne so».

Nel solco di questi giochi di parole c'è anche l'incomparabile canzoncina sugli elementi composta da Tom Lehrer sulla musica dell'aria *I Am the Very Model of a Modern Major-General*, dall'operetta

The Pirates of Penzance di Gilbert e Sullivan. In un minuto e mezzo riesce a snocciolare tutti gli elementi della tavola periodica. È fantastica, ascoltatela su YouTube: «*There's antimony, arsenic, aluminum, selenium...*» (www.youtube.com/watch?=zGM-wSKFBpo).

3. Per sottolineare ancor più il ruolo dei vulcani nella formazione delle rocce, i plutonisti erano anche detti «vulcanisti», in onore di Vulcano, dio del fuoco.

4. Döbereiner parlava di «affinità» tra elementi, proprietà su cui aveva elaborato una teoria più onnicomprensiva. Pare che Goethe, che frequentava spesso le sue lezioni ajena, si sia basato proprio su questo concetto per scegliere il titolo delle *Affinità elettive*.

5. Un altro magnifico oggetto di design ispirato agli elementi è il *Periodic Table Table*, un tavolo basso di legno disegnato da Theodore Gray. Il piano di appoggio nasconde più di cento piccoli cassetti numerati con campioni di tutti gli elementi esistenti, compreso un gran numero di elementi artificiali. Ovviamente, in certi casi la quantità presente è esigua. Al posto di francio, Fr (87), e astato, At (85), i due elementi più rari in natura, ci sono minuscole pepite di uranio. Gray ritiene che queste contengano almeno qualche atomo dei due metalli, abbastanza da giustificare la loro collocazione nei cassetti 85 e 87 – il che è vero e, onestamente, nessuno finora è riuscito a essere più preciso. Per di più, quasi tutti gli elementi sono di colore grigio, cosicché è difficile distinguerli.

6. Per la storia della Parker 51 si veda Daniel A. Zazove e L. Michael Fultz, *Who Was That Man?*, in «Pennant», autunno 2000. Comparso sulla rivista di un'associazione di collezionisti, questo articolo è un eccellente esempio di storia materiale scritta da appassionati non professionisti, un ottimo modo di tenere viva una poco nota ma affascinante vicenda americana. Si vedano anche i siti Parker51.com e Vintagepens.com.

La famosa punta era fatta al 96 per cento di rutenio e al 4 per cento di iridio. L'azienda sosteneva nelle sue pubblicità che si trattasse di «platenio», un nome inventato che si pensava depistasse la concorrenza suggerendo che l'ingrediente base fosse il costoso platino.

7. Ecco qua il testo della lettera, che la Remington fece circolare senza censure: «Egregi signori, vi prego di non utilizzare il mio nome in alcun modo, né di far sapere a chicchessia che possiedo una macchina. Ho cessato del tutto di utilizzare la Macchina per

Scrivere, per questo motivo: ogni volta che spedisco una lettera ivi composta, subito il destinatario mi chiede di descrivere la macchina che ho usato, e di raccontargli anche i miei progressi nel suo utilizzo, eccetera. Detesto scrivere lettere e non voglio far sapere alla gente che possiedo questo aggeggio che desta tanta curiosità. Distinti saluti, Samuel L. Clemens».

15. UN ELEMENTO DI FOLLIA

1. L'espressione fu coniata negli anni Cinquanta dal chimico Irving Langmuir, che la utilizzò per la prima volta in un discorso. Due fatti interessanti a proposito di questo signore: era quel giovane, brillante e impudente scienziato, vincitore di un Nobel, che a quanto pare spinse al suicidio Gilbert Lewis dopo un fatale pranzo, come abbiamo visto nel capitolo 1; in tarda età sviluppò un'ossessione per il controllo del tempo atmosferico grazie alla «semina» delle nuvole, idea non troppo convincente che rimaneva pericolosamente vicina ai confini della follia - neppure i geni ne sono immuni.

In questo capitolo non uso l'espressione «scienza patologica» nella precisa accezione di Langmuir, che la intendeva in senso più tecnico e legale. Un'altra opinione in materia si trova in questo eccellente articolo: Denis Rousseau, *Case Studies in Pathological Science*, in «American Scientist», 80 (1992), pp. 54-63. Mi discosto anche da questa visione, soprattutto perché voglio esser libero di trattare scienze come la paleontologia, meno dipendenti dai dati sperimentali rispetto a quelle che forniscono i casi più celebri di scienza patologica.

2. La tragedia avvenne a bordo di una nave che stava posando sul fondo dell'oceano uno dei primi cavi che collegavano via telegrafo le due sponde dell'Atlantico.

3. Crookes aveva una visione della natura mistica, panteistica e spinoziana, in cui tutto era manifestazione di «un solo tipo di materia». Ciò può forse spiegare perché credeva di poter comunicare con fantasmi e spiriti, fatti della stessa sostanza degli uomini. A pensarci bene la cosa è ancora più strana, perché Crookes divenne famoso per la scoperta di nuovi elementi, cioè di diversi tipi di materia, per definizione!

4. Per ulteriori dettagli si veda l'articolo di Ben S. Roesch (*A Critical Evaluation of the Supposed Contemporary Existence of 'Carcharodon megalodon'*, in «The Cryptozoological Review», 3 (2), pp. 14-24), pubblicato nell'autunno del 1998, dove egli dimostra come sia

inconcepibile che il megalodonte sia sopravvissuto. Roesch ritornò sull'argomento nel 2002 in *Cryptozoology* (nella *Skeptic's Encyclopedia of Pseudoscience*, a cura di Michael Shermer, ABC-Clío, New York), scritto in collaborazione con J.L. Moore.

5. Il manganese è protagonista di un altro strano collegamento tra chimica e psiche. Come fa notare Oliver Sacks in *Risvegli*, una dose eccessiva di questo elemento può danneggiare il cervello e provocare gli stessi sintomi del morbo di Parkinson. È comunque un'eventualità molto rara. A oggi non sappiamo perché questo elemento, a differenza di altri veleni, prenda di mira nello specifico il cervello.

6. Il calcolo è presto fatto. Secondo gli esperti dello zoo di San Diego, l'elefante più grande mai vissuto pesava circa dieci tonnellate e mezzo. Uomini ed elefanti sono fatti in maggioranza di acqua, dunque hanno densità simili. Per completare il calcolo basta allora moltiplicare il peso dell'uomo per 900 e dividerlo per il peso dell'elefante, il che dà come risultato 9,4. Ricordate però che abbiamo preso come riferimento un esemplare record (che da vivo misurava quasi quattro metri al garrese). Il peso medio è più vicino a otto tonnellate, dunque la dozzina ci sta tutta.

7. David Goodstein, *Whatever Happened to Cold Fusion*, in «American Scholar», autunno 1994.

16. LA CHIMICA DEL GRANDE FREDDO

1. La teoria secondo cui sarebbe stata la lebbra dello stagno a determinare il fallimento di Scott sembra abbia avuto origine da un articolo del «New York Times», anche se lì si diceva che il danno fosse presente nelle scatolette alimentari e non nelle taniche di cherosene, a cui si arrivò in un secondo tempo. Riguardo alla composizione dei tappi, le ipotesi sono le più disparate: cuoio, stagno puro, una miscela di stagno e piombo e così via.

2. Il plasma è in realtà lo stato più comune della materia nell'universo, essendo il componente principale delle stelle. Lo si trova raramente (e a temperature assai più basse) negli strati superiori dell'atmosfera terrestre, là dove i raggi cosmici ionizzano molecole di gas isolate (producendo anche antimateria). I raggi cosmici sono anche causa di quegli spettacoli di luce colorata noti come aurore boreali.

3. Altri colloidi sono la marmellata, la nebbia, la panna montata e certi tipi di vetri colorati. Le schiume di cui parleremo nel capitolo 17 sono colloidi in cui si mischiano gas e solidi.

4. La parte cruciale dell'esperimento avvenne di venerdì. La preparazione prese tutto il giorno; quando Bartlett ruppe un tappo di vetro per osservare la reazione in atto erano le sette di sera. Era così fuori di sé dalla gioia che uscì nel corridoio e si mise a urlare per chiamare i colleghi. Tutti se ne erano già andati a casa, però, e così gli toccò far festa da solo.

5. Schrieffer concluse la sua carriera in modo tutt'altro che sereno. A settantaquattro anni si mise a guidare veloci auto sportive, collezionò nove multe per eccesso di velocità e gli fu ritirata la patente. Ma ignorò la cosa e uscì per un giro con la sua nuova Mercedes da San Francisco a Santa Barbara. Nonostante stesse filando a centotanta all'ora, si addormentò al volante e andò a sbattere contro un pulmino: nell'incidente morirono due persone, una rimase paralizzata e altre cinque furono ferite. In tribunale avrebbe dovuto essere condannato a otto mesi da scontare nella prigione della contea, ma quando il giudice ascoltò i racconti dei famigliari delle vittime decise che Schrieffer doveva esser rinchiuso nel più rigido carcere federale. In una nota della Associated Press si citava il suo ex collega Leon Cooper, che dichiarò incredulo: «Questo non è il Bob con cui ho lavorato... questo non è il Bob che conosco».

6. Vorrei provare a essere un po' meno rigido sulla questione. C'è qualche ragione plausibile per cui molti confondono il principio di indeterminazione con l'idea che la misurazione interferisca con ciò che è misurato e che l'osservatore cambi la realtà osservata. I fotoni sono gli oggetti più piccoli con cui possiamo sondare la materia, ma non sono *molto più* piccoli di elettroni, protoni o altre particelle. Dunque misurare la velocità o la posizione di una di queste con un fotone equivale a misurare la velocità di un camion facendoci sbattere contro un furgone. Di sicuro otteniamo qualche informazione, ma facciamo comunque deviare il camion dal suo percorso. E in molti, fondamentali esperimenti nell'ambito della meccanica quantistica osservare lo spin o la velocità di una particella altera la realtà in modi complessi e quasi inquietanti. È giusto affermare che il principio di indeterminazione sta alla base di tutto e che va capito, ma la causa del cambiamento in questi casi va ricercata nell'interferenza, che è un fenomeno diverso. Qualcuno potrebbe anche sostenere che molti confondono i due ambiti perché la nostra società sente il

bisogno di una potente metafora che coinvolga osservatori e osservati, e il principio di indeterminazione serve allo scopo.

7. L'Università del Colorado ha prodotto un utile sito che spiega cos'è il condensato di Bose-Einstein e contiene varie simulazioni numeriche e interattive: www.colorado.edu/physics/2000/bec.

Cornell e Wieman condivisero il Nobel con Wolfgang Ketterle, un fisico tedesco che arrivò anche lui a creare il condensato e che diede importanti contributi allo studio delle sue insolite proprietà.

Cornell fu parecchio sfortunato e quasi perse l'opportunità di godersi la vita dopo il Nobel. Verso la fine di novembre del 2004 fu ricoverato in ospedale con i sintomi dell'influenza e una spalla dolorante; poco dopo entrò in coma. Una banale infezione da streptococco era degenerata in fascite necrotizzante, una grave infiammazione dei tessuti molli causata da quello che in gergo giornalistico è stato definito «batterio mangiamuscoli». Gli fu amputato il braccio sinistro all'altezza della spalla per fermare l'infezione, ma ciò non ottenne gli effetti desiderati. Cornell rimase tra la vita e la morte per tre settimane, ma alla fine riuscì a uscirne, guarendo del tutto.

17. SFERE DI SPLENDORE: LA SCIENZA DELLE BOLLE

1. Putterman scrisse tre articoli dedicati alla storia del suo rapporto con la sonoluminescenza e al fascino che questo fenomeno esercitava su di lui: *Sonoluminescence: Sound into Light*, in «Scientific American», febbraio 1995; *Sonoluminescence: The Star in a Jar*, «Physics World», maggio 1998; *Sonoluminescence: The Plot Thickens*, in «Physics World», agosto 1999.

2. Un'importante scoperta teorica in materia si è rivelata fondamentale per la buona riuscita delle Olimpiadi di Pechino nel 2008. Nel 1993, due fisici del Trinity College di Dublino, Robert Phelan e Denis Weaire, trovarono una soluzione al cosiddetto «problema di Kelvin»: dato un volume, creare una struttura schiumosa di superficie totale minima. Lord Kelvin pensava a una schiuma di bolle poligonali con quattordici lati; i due irlandesi dimostrarono invece che la soluzione migliore era una combinazione di poligoni con dodici e quattordici lati, la cui superficie era minore dello 0,3 per cento rispetto a quella più semplice. Uno studio di architettura si avvale di questo risultato per progettare la famosa «bolla», lo stadio del nuoto che è stato teatro delle straordinarie gesta di Michael Phelps.

Per non dare l'impressione di essere troppo affezionato alle bolle, ricordo qui che sono oggetto di studio anche le «antibolle»: gocce di liquido circondate da una pellicola di gas (mentre le bolle sono sfere di gas circondate da una pellicola di liquido). Ovviamente le antibolle non vanno a galla, ma affondano.

18. STRUMENTI DI UNA PRECISIONE ASSURDA

1. Il primo passo per richiedere una nuova calibrazione per un chilogrammo «straniero» è quello di compilare un apposito modulo e spedirlo per fax al BIPM; si deve dichiarare il mezzo di trasporto usato e specificare diversi dettagli relativi ai controlli aeroportuali e doganali in Francia; inoltre, si deve scegliere se usufruire o meno del servizio di lavaggio prima e dopo la calibrazione. I campioni ufficiali si puliscono con un bagno di acetone (sì, la stessa sostanza presente nel solvente per unghie) e poi si asciugano con una garza speciale che non lascia peluzzi. Dopo ogni manipolazione o lavaggio, i tecnici del BIPM lasciano stabilizzare il campione per qualche giorno prima di toccarlo di nuovo. Ecco perché la calibrazione è un processo che può durare mesi.

Gli Stati Uniti possiedono in realtà due chilogrammi di platino-iridio, K20 e K4. Il primo è considerato la copia ufficiale perché è in possesso dello Stato americano da più tempo. Esistono poi tre copie ufficiose di acciaio inossidabile, due delle quali sono state acquistate negli ultimi anni dal National Institute of Standards and Technology (sono più grandi di quelle ufficiali, perché l'acciaio è meno denso del platino). La loro presenza, unita al fatto che i viaggi aerei presentano enormi seccature dal punto di vista della sicurezza, spiega perché Zeina Jabbour non ha tutta questa fretta di spedire il K20 a Parigi: i campioni di acciaio sono più recenti e sono stati calibrati da poco.

Per tre volte negli ultimi cento anni il BIPM ha richiamato a sé tutte le copie ufficiali esistenti al mondo per una calibrazione di massa, ma non è previsto che l'operazione venga ripetuta a breve.

2. Per la precisione, gli orologi atomici al cesio si basano sulla struttura *iperfine* dello spettro atomico. Se nella struttura fine si parla di differenze di un semitono (per continuare l'analogia musicale), qui siamo nell'ordine di un quarto o anche di un ottavo di tono.

Gli orologi al cesio sono ancora oggi lo standard internazionale, ma quelli al rubidio li stanno sostituendo in tutte le applicazioni, perché sono più piccoli e maneggevoli. Proprio per questo vengono portati in giro per il mondo a fare calibrazioni e controlli sugli orologi ufficiali dei vari Paesi, come se fossero l'equivalente mobile del chilogrammo campione.

3. Più o meno negli stessi anni, il grande fisico teorico Paul Dirac avanzò un'ipotesi che avrebbe riscosso un certo successo: l'incostanza delle costanti. A livello atomico, l'attrazione fra protoni ed elettroni è immensamente più forte della forza gravitazionale: è più intensa di circa 10^{40} volte (un numero inconcepibile, diecimila miliardi di miliardi di miliardi di miliardi). Dirac, impegnato a misurare il tempo impiegato dagli elettroni per attraversare un atomo, si accorse che quella minuscola frazione di nanosecondo era 10^{40} volte più breve del tempo impiegato da un raggio di luce per attraversare tutto l'universo. Che coincidenza!

Come era facile prevedere, più Dirac scandagliava i fenomeni naturali, più quel numero magico saltava fuori: il rapporto tra le dimensioni dell'universo e quelle dell'elettrone; tra la massa dell'universo e quella del protone; e così via. (Eddington si unì al coro calcolando che i protoni e gli elettroni contenuti nell'universo erano circa 10^{40} per 10^{40}). Dirac e alcuni colleghi si convinsero che fosse all'opera una ancora sconosciuta legge fisica. Il problema era dato dal fatto che certi rapporti coinvolgevano numeri non fissi ma variabili, come le dimensioni dell'universo in espansione. Per far tornare i conti, Dirac avanzò un'ipotesi rivoluzionaria: la forza di gravità si indeboliva con il tempo. L'unico meccanismo plausibile per cui ciò avvenisse era una diminuzione del valore di G , la costante di gravitazione universale.

L'idea di Dirac si rivelò insostenibile. Quasi subito i colleghi fecero notare che, tra l'altro, la luminosità delle stelle dipende direttamente da G e che se questa costante fosse stata più alta in passato la Terra non avrebbe conservato gli oceani, evaporati a causa del calore solare. Ma le sue idee ispirarono altre ricerche. Negli anni Cinquanta, periodo d'oro per queste speculazioni, ci fu chi ipotizzò che *tutte* le costanti fondamentali fossero in lenta diminuzione, il che implicava che l'universo non si stesse espandendo, come tutti pensavano, ma contraendo - e con lui la Terra e gli esseri umani! La vicenda dell'incostanza delle costanti sembra un po' la storia dell'alchimia: anche quando le ricerche arrivano a conclusioni scientificamente valide, è difficile separarle dal fondo mistico. Agli scienziati piace, in generale, invocare l'incostanza delle costanti

quando un mistero cosmologico aleggia sulle loro ricerche in un certo periodo, come accadde all'espansione dell'universo.

4. Per i dettagli sulla questione, si veda ad esempio questo articolo di uno dei membri del gruppo: John Webb, *Are the Laws of Nature Changing with Time?*, in «Physics World», aprile 2003. Uno dei colleghi di Webb, Mike Murphy, mi ha rilasciato un'intervista nel giugno 2008.

5. Lo studio della varianza di alfa non si basa solo su dati astronomici. Da tempo ci si chiede come mai gli esperimenti effettuati in varie parti del mondo non arrivino agli stessi risultati riguardo al tempo di dimezzamento di certi atomi radioattivi. Sono misurazioni standard, dunque non ci dovrebbero essere discrepanze, eppure è così: i dati non coincidono per silicio, radio, manganese, titanio, cesio e altri ancora.

Un gruppo di ricerca inglese, nel tentativo di risolvere il mistero, si è accorto che i vari laboratori ottenevano risultati diversi in diversi periodi dell'anno. Ha dunque avanzato l'ardita ipotesi che la costante di struttura fine potrebbe variare durante il moto di rivoluzione terrestre, perché il nostro pianeta è più o meno vicino al Sole a seconda della stagione. Ci sono altre spiegazioni possibili per questa variazione dei tempi di dimezzamento, ma questa è di sicuro la più affascinante: sarebbe davvero straordinario se alfa cambiasse in modo così sensibile addirittura all'interno del sistema solare!

6. Sembra paradossale, ma tra i più smaniosi di trovare le prove della variazione di alfa ci sono gruppi di fondamentalisti cristiani. La costante di struttura fine è definita a partire da varie grandezze, una delle quali è la velocità della luce, c . Siamo nel campo delle speculazioni, ma se alfa non fosse costante nel tempo questo potrebbe valere anche per c . Anche molti creazionisti accettano il fatto che la luce proveniente dalle stelle più lontane ci fornisce una descrizione, o almeno così sembra, di eventi avvenuti miliardi di anni fa. Per giustificare la clamorosa discrepanza tra questo dato e la cronologia della *Genesi*, certi fondamentalisti sostengono che Dio abbia creato un universo in cui la luce era «già partita», per sfidare la ragione umana e costringerci a scegliere tra la fede e la scienza (lo stesso dicasi per i fossili). Ad alcuni creazionisti meno radicali questa ipotesi non piace, perché Dio viene dipinto come ingannatore e persino crudele. Ma se la velocità della luce fosse stata molto più elevata in passato, miliardi di volte quella attuale, il dilemma si risolverebbe da solo: Dio ha creato la Terra

seimila anni fa, mentre noi pensiamo che tutto sia assai più antico perché ignoriamo la verità sull'incostanza di α e c . Come potete immaginare, gli scienziati impegnati in questo campo detestano vedere le loro ricerche sfruttate per simili scopi, ma c'è una piccolissima fazione di, chiamiamoli così, «fisici fondamentalisti» che lavorano alacremente in questo senso.

7. Una celebre foto di Fermi lo mostra accanto a una lavagna su cui è scritta l'equazione che definisce α , la costante di struttura fine. Stranamente, c'è un errore. La formula corretta è $\alpha = e^2/hc$, dove e è la carica dell'elettrone, h è la costante di Planck h divisa per 4π e c è la velocità della luce; invece sulla lavagna si legge $\alpha = h^2/ec$. Non è dato sapere se Fermi avesse davvero sbagliato o volesse fare uno scherzo al fotografo.

8. Ecco l'equazione di Drake per esteso:

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

dove N è il numero di civiltà extraterrestri presenti oggi nella nostra galassia con cui si potrebbe comunicare, R^* è il tasso medio annuo di formazione delle stelle nella Via Lattea, f_p è la percentuale di stelle che possiedono pianeti, n_e è il numero medio di pianeti per sistema solare in grado di ospitare la vita, f_l , f_i e f_c sono rispettivamente le percentuali dei pianeti ospitali su cui si è effettivamente sviluppata la vita, su cui si sono evoluti esseri intelligenti, su cui esistono civiltà extraterrestri in grado di comunicare, e infine L è la durata del periodo in cui queste civiltà evolute mandano segnali, prima di estinguersi.

Le stime originali di Drake erano queste: la nostra galassia produce dieci nuove stelle all'anno ($R^* = 10$); metà di queste hanno pianeti ($f_p = 0,5$); un sistema solare ha in media due pianeti potenzialmente in grado di ospitare la vita ($n_e = 2$, anche se il Sole si pensa ne abbia sette: Venere, Marte, Terra e alcuni satelliti di Giove e Saturno); in uno di quei due pianeti la vita nascerà effettivamente ($f_l = 0,5$); nell'un per cento dei casi si arriverà alla vita intelligente ($f_i = 0,01$); nell'un per cento di questi ultimi casi si arriverà a civiltà evolute oltre il livello primitivo, capaci di mandare segnali nello spazio ($f_c = 0,01$); la durata media di queste civiltà sarà diecimila anni ($L = 10\,000$). Se fate i conti, ottenete dieci civiltà che dovrebbero cercare di comunicare con noi in questo momento.

Le stime di questi valori variano in modo radicale. Duncan Forgan, astrofisico dell'Università di Edimburgo, ha effettuato una

simulazione dell'equazione di Drake con metodi Montecarlo, immettendo valori casuali per tutte le variabili e calcolando il risultato in migliaia di casi, per trovare quello più probabile. La cifra finale è ben diversa dal dieci di Drake: ci sarebbero 31574 civiltà in grado di comunicare con noi nella nostra galassia. L'articolo si trova all'indirizzo <http://arxiv.org/abs/0810.2222>.

19. ESPLORAZIONI OLTRE LA TAVOLA PERIODICA

1. La terza delle quattro forze fondamentali è l'interazione nucleare debole, che governa il decadimento beta degli atomi. Nel francio accade una cosa curiosa: interazione forte ed elettromagnetica lottano per il predominio all'interno del nucleo, ma l'interazione debole fa da arbitro finale.

La quarta forza fondamentale è la gravità. L'interazione forte è cento volte più potente di quella elettromagnetica, che a sua volta è cento miliardi di volte più potente dell'interazione debole, che a sua volta è dieci milioni di miliardi di miliardi di volte più potente della gravità (per dare un senso delle scale, è dell'ordine delle macchine contenute in tutti i parcheggi nell'esempio visto sopra circa la rarità dell'astato). La gravità domina la nostra vita quotidiana solo perché le interazioni nucleari hanno raggio d'azione cortissimo e le forze elettromagnetiche sono quasi tutte cancellate dall'equilibrio delle cariche positive e negative.

2. Dopo aver faticato per decenni a costruire gli elementi superpesanti in laboratorio, pare che possiamo scoprirli anche in modo tradizionale. Nel 2008 un team di scienziati israeliani, guidati da Amnon Marinov, ha annunciato di aver trovato l'elemento 122 setacciando pazientemente per mesi un campione di torio, suo cugino chimico. La parte più incredibile non era tanto il successo di un metodo così vecchio stile, quanto il fatto che secondo i loro dati l'elemento 122 aveva un'emivita di cento milioni di anni! Un tempo di dimezzamento così fuori scala fece insospettire molti colleghi, e in effetti con il passare del tempo la scoperta degli israeliani sembra sempre meno probabile. Loro, però, continuano a sostenere di essere nel giusto.

3. Altro esempio di uso del latino: quando nel 1984 un gruppo di scienziati dell'allora Germania Ovest acciuffò l'elemento 108, decise di battezzarlo «hassio» seguendo il nome latino della regione tedesca dell'Assia (*Hassia*) e non «deutschlandio» o cose del genere.

4. Non sarà una nuova versione, ma certo è un modo interessante di presentarla: a Oxford alcuni autobus e taxi sono dipinti integralmente con frammenti di tavola periodica, in genere con colori pastello. L'operazione è sponsorizzata dall'Oxford Science Park, e se ne può vedere un esempio all'indirizzo: www.oxfordinspires.org/newsfromImageWorks.html.

Se invece volete sbizzarrirvi con la tavola periodica in altre lingue, qui ne trovate più di duecento versioni, comprese quelle in lingue morte come il copto e il gotico: www.jergym.hiedu.cz/~canovm/vyhledav/chemici2.html.

RINGRAZIAMENTI

Vorrei per prima cosa ringraziare i miei cari: i miei genitori, che non hanno mai fatto troppe domande circa le mie vere intenzioni, una volta iniziato a scrivere il libro; la mia amata Paula, che mi ha tenuto la mano; mio fratello Ben e mia sorella Becca, che mi hanno insegnato a combinarne di tutti i colori. Poi tutti gli altri membri della famiglia e gli amici, del South Dakota e di ogni dove, che mi hanno sostenuto e spinto a uscire di casa di tanto in tanto. E i miei maestri e professori, che mi hanno raccontato molte delle storie qui raccolte, senza forse rendersi conto di quanto ciò fosse importante per me.

Ringrazio anche il mio agente Rick Broadhead, che ha creduto in questo progetto e ha pensato a me come la persona adatta a realizzarlo. Devo molto anche a John Parsley, mio editor alla Little Brown, che ha visto le potenzialità del libro e mi ha aiutato a dargli forma. Il personale della casa editrice mi è stato prezioso, in particolare Cara Eisenpress, Sarah Murphy, Peggy Freudenthal, Barbara Jatkola e molti altri di cui non conosco il nome, che si sono dati da fare per la realizzazione e la confezione di quest'opera.

Sono riconoscente alle moltissime persone che mi hanno aiutato in punti o capitoli specifici, magari fornendomi nuovi dettagli o trovando informazioni o semplicemente dedicando un po' del loro tempo per spiegarmi qualcosa. Ricordo in particolare Stefan Fajans; Theodore Gray del sito www.periodictable.com; Barbara Stewart dell'Alcoa; Jim Marshall dell'Università del Nord

Texas; Eric Scerri dell'Università della California a Los Angeles; Chris Reed dell'Università della California a Riverside; Nadia Iza-kson; l'ufficio relazioni esterne della Chemical Abstracts Service; i bibliotecari e il personale della Library of Congress. Mi scuso se ho dimenticato qualcuno: un grazie commosso anche a chi non è nominato qui.

Infine ho un debito particolare nei confronti di Dmitrij Mendeleev, Julius Lothar Meyer, John Newlands, Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois, William Odling, Gustavus Hinrichs e gli altri scienziati che hanno costruito la tavola periodica, oltre alle migliaia di studiosi che hanno scritto un capitolo della meravigliosa storia degli elementi.

BIBLIOGRAFIA

Questo elenco non vuole certo registrare tutte le pubblicazioni che ho consultato nel corso delle mie ricerche, ma solo segnalare i libri migliori tra quelli accessibili al grande pubblico, per chi è interessato a saperne di più sulla tavola periodica e sui vari elementi. Altre indicazioni bibliografiche si trovano nelle note.

Patrick Coffey, *Cathedrals of Science: The Personalities and Rivalries That Made Modern Chemistry*, Oxford University Press, New York, 2008.

John Emsley, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, Oxford University Press, Oxford, 2003.

Sheila Jones, *The Quantum Ten*, Oxford University Press, New York, 2008.

T.R. Reid, *The Chip: How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution*, Simon & Schuster, New York, 1986.

Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*, Simon and Schuster, New York, 1986 [trad. it. *L'invenzione della bomba atomica*, Rizzoli, Milano, 1990].

Oliver Sacks, *Awakenings*, Duckworth, London, 1973 e successive edizioni [trad. it. *Risvegli*, Adelphi, Milano, 1987].

Eric Scerri, *The Periodic Table*, Oxford University Press, Oxford, 2006.

Glenn Seaborg ed Eric Seaborg, *Adventures in the Atomic Age: From Watts to Washington*, Farrar, Straus & Giroux, New York, 2001.

Tom Zoellner, *Uranium: War, Energy, and the Rock That Shaped the World*, Viking, New York, 2009.

INDICE ANALITICO

I numeri in corsivo rinviano alle illustrazioni.

- Accademia Reale Svedese delle Scienze, 52, 214.15, 221-24
- acidi, 23, 28-33, 202-204
- acqua
- acidità e, 303, 327
 - magnesio e, 333
 - Oklo e, 327-28
 - ossigeno e, 269
 - pesante, 222, 269-70, 272, 274, 370-71 n. 5
 - silicio e, 47
- afnio (Hf), 112, 220-21, 370 n. 4
- alcalini, metalli, 27
- alchimia
- antimonio e, 354-55 n. 4
 - Goethe e, 247
 - Johann Friedrich Böttger e, 67-68
 - mercurio e, 12, 15, 353 n. 1, 365 n. 1
 - numerologia delle triadi e, 249
 - trasmutazione e, 306-307
- Alcoa, 242-43, 372
- alfa, costante, 325-27, 329-31, 334, 343, 381-82 nn. 5, 6 e 7; *si veda anche* struttura fine, costante di
- alfa, decadimento, 114-15, 341
- alfa, particelle, 128-30, 136, 140, 174, 307-309, 341
- alfa e beta, configurazioni cristalline, 285-89
- alfa eliche, 154-56, 158
- aliene, forme di vita, 45-49, 332-34, 344, 349
- alluminio (Al), 240-43, 347-48, 372 n. 3, 373 n. 2
- alogeni, 27-28, 92, 347
- Aluminum Company of America, 242
- Alvarez, Luis, 85-88, 113, 116, 302
- Alvarez, Walter, 85-87
- American Chemical Society, 270
- American Metal, 100-101
- americio (Am), 128, 174
- aminoacidi, 43-44, 155, 161, 165, 182, 202, 355-56 n. 2
- ammoniaca, 93-94, 97, 360 n. 2
- Amundsen, Roald, 284
- antibiotici, 181-82, 190, 258
- antielettrone, 160, 346
- antimonio (Sb), 31-33, 169, 239, 354-55 n. 4
- antiprotone, 159-60, 346, 364 n. 9
- antisettiche, proprietà, 177-78

- argento (Ag), 161,176-77,181-82, 250, 367 n. 7
- argiria, 181, 367 n. 7
- argo (Ar), 26,205,288-90,315, 373
- arsenico (As), 56-57,134,169
- asfissia, 195-96, 368-69 n. 1
- asimmetria, 182-84,192, 367 n. 11
- astato (At), 169, 336-39, 341, 374 n. 5, 383 n. 1
- asteroidi, 84, 86-88, 359 n. 7
- astronomico, tempo, 324, 330
- «atomi frittella», 348
- atomico, numero, 38-39,109-12
- atomico, orologio, 323-24, 330, 379-80 n. 2
- atomico, peso
 - del carbonio, 82-83
 - del piombo, 83
 - Mendeleev e, 60, 64,205
 - protoni e neutroni e, 38,115
- atomo/i
 - «atomi frittella», 348
 - di cesio, 323-24
 - fasci di elettroni e, 109
 - livelli energetici nell', 25-26, 34-35, 236-38, 289
 - Mendeleev e, 357-58 nn. 1 e 2
 - perdita di, nel campione ufficiale di chilogrammo, 321
 - principio di indeterminazione e, 298
 - regola dell'ottetto e, 43, 45, 170,187, 346, 349
 - stati della materia e, 287, 289, 291-93, 296-97
 - struttura cristallina e, 285
 - superatomi, 347, 349
 - superconduttività e, 287
 - tavola periodica e, 16
 - *si vedano anche* elettrone; elementi; neutroni; nucleo; protone
- attnio (Ac), 345
- Australia, 106,232,311
- Avery, Oswald, 363 n. 6
- azoto (N)
 - esplosivi e, 94
 - Fritz Haber e, 93-94, 96
 - NASA e, 196-98
 - negli aminoacidi, 43-44,155
 - piante e, 93
 - prontosi e, 187
 - sonoluminescenza e, 315
- B²FH (Geoffrey Burbidge, Margaret Burbidge, William Fowler e Fred Hoyle), 76-78, 80, 90
- Bacone, Francesco, 41, 355 n. 1
- Bardeen, John, 50-53, 290
- bario (Ba), 226, 248, 275-78, 372 n.8
- Bartlett, Neil, 288, 377 n. 4
- basi, 29-30
- batteri, 185-87,189, 333
- bcs (John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schrieffer), teoria, 290, 296
- Bedford, Sybille, 244, 373 n. 1
- Bell Laboratories, 49, 51, 290, 362 n. 1
- Berg, Otto, 149
- berillio (Be), 77, 146, 201-202, 204, 331, 369 n. 2
- Berkeley Radiation Laboratory, 131,147; *si veda anche* Università della California a Berkeley
- berkelio (Bk), 125,129,137
- beta, decadimento, 114-15, 172, 341, 367 n. 11, 383 n. 1
- beta, particelle, 41, 307
- big bang, 75-76, 78, 80, 330-31
- binaria, nomenclatura, 342
- Biotjean-Baptiste, 183-84
- birra, 299-302
- bismuto (Bi), 166-69, 250
- Bohr, Niels, 110, 219-22, 293-94, 342
- bohrio (Bh),138,372n.8
- bolle
 - antibolle, 378-79 n. 2
 - calcio e, 303
 - camera a, 301-302, 312
 - cellule e, 302-303, 313
 - Coca e Mentose, 317

- di elio nell'uranio, 307-10
- di piombo nello zirconio, 311
- Europa e, 333-34
- formazione delle, 300
- scienze intuitive e, 304-305
- sonoluminescenza e, 314-16, 378 n. 1
- bomba atomica
 - bomba «sporca», 122-24
 - fissione e, 116, 122
 - metodo Montecarlo e, 117, 120-22
 - plutonio e, 112, 117-19, 121-22, 165
 - Unione Sovietica e, 123, 135-36
 - uranio e, 113, 117, 119, 121, 165
- boro (B), 31-32, 45, 62, 77, 372 n. 8
- Bose, Satyendra Nath, 295-97, 329
- Bose-Einstein, condensato di (BEC), 287, 291, 295-98, 348, 378 n. 7
- Böttger, Johann Friedrich, 67-69
- Bragg, William, 158-59
- Brahe, Tycho, 176-77, 365 n. 1
- Bränemark, Per-Ingvar, 198-200, 275
- Brattain, Walter, 50-52
- bromo (Br), 23, 92, 94-97, 248, 347
- bronzo, 230-31 buchi neri, 329, 338, 343
- Bunsen, Robert, 56-60, 62-63, 70, 237
 - becco, 57-58, 63, 172
- Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), 319-21
- cacodile, 56
- cadmio (Cd), 134, 161-67, 169, 250
- calaverite, 233-34
- calcio (Ca)
 - abbondanza del, 39
 - bolle e, 303
 - ossa e, 163, 303
 - senso del gusto e, 203, 369 n. 3
- sintesi dell'elemento e, 118, 141
- stronzio e, 248
- calcolatori
 - cadmio e, 162
 - metodo Montecarlo e, 121
 - quantistici, 348
 - umani nel Progetto Manhattan, 118, 120
 - Victor Ninov e, 141
- californio (Cf), 125, 129, 137, 141
- camera a nebbia, 300
- cancro
 - gadolinio e, 178-80
 - oro e, 366 n. 5
- Canyon Diablo, meteorite, 84
- carbonio (C)
 - aminoacidi e, 43-44, 155
 - bromo e, 92
 - costante alfa e, 325-26
 - peso atomico e, 82-83
 - piombo e, 341
 - prontosi e, 187
 - silicio e, 45-49
 - sua transizione alfa-beta, 286
 - zuccheri e, 48
- carborano, 31-33
- catalizzatore, 192-93
- catena, reazione a, 115-17, 171, 202, 327
- cellulare, telefono, 105-106
- cellule, 161, 164-65, 302-303, 313
- cerio (Ce), 66-67, 239, 244
- cesio (Cs), 288, 323-24, 379-80 n. 2, 381 n. 5
- Chamberlain, Owen, 159, 364 n. 9
- Chemical Society of London, 60
- chilogrammo, 319-22, 379-80 nn. 1 e 2
 - campione, 319-22
- Chimica, guerra
 - bromo e, 92
 - cloro e, 95-96
 - Convenzione dell'Aia (1899) contro la, 91-92, 95
 - Fritz Haber e, 94-97, 188
 - Germania e, 93-96, 224
 - nell'antica Grecia, 91

- prima guerra mondiale e, 91-96, 224, 360 n. 1
- chimica e fisica, divergenze tra, 212, 219-21
- chiralità, 182-84, 190-94, 367 nn. 8 e 11, 368 n. 13
- Churchill, Winston, 103, 190
- cianobatteri, 327, 333
- ciclotrone, 150, 152
- Cina, 68, 354-55 n. 4
- circadiano, ritmo, 258-59
- cloridrico, acido, 203
- cloro (Cl), 95-97, 102, 248
- cobalto (Co), 78, 109-10, 122-23, 205
- coerenza, 291-98
- Coffey, Patrick, 354 n. 3
- collagene, 199-200
- colloidi, 287, 376-77 n. 3
- Columbia* (shuttle), 196-98
- comete, 84, 87, 89
- Congo, Repubblica Democratica del, 105-107
- Convenzione dell'Aia (1899), 91-92, 95
- Cooper, coppie di, 290, 296
- copernicano, principio, 321
- copernicio (Cn), 139, 361-62 n. 4
- Cornell, Eric, 297-98, 378 n. 7
- costanti fondamentali, 325, 327, 329-30, 380-81 n. 3
- Crick, Francis, 157-60, 355-56 n. 2, 362-63 nn. 4, 6 e 7
- cristallina, struttura, 285-86, 288-89
- cromo (Cr), 330
- Crookes, Philip, 262, 375 n. 3
- Crookes, tubo di, 275-77
- Crookes, William, 261-66, 268, 275-77, 346, 375 n. 3
- cucchiaino scomparso, 63, 358 n. 3
- Curie, Marie
 - Ernest Rutherford e, 114, 306, 309
 - premio Nobel e, 213-15, 217
 - radioattività e, 117, 128, 212-15, 217, 255
- Curie, Pierre, 212-14, 370 n. 1
- curio (Cm), 128, 214
- d*, orbitali, 35, 358
- darmstadtio (Ds), 139
- Darwin, Charles, 62, 109, 309
- Davy, medaglia, 60
- denaro
 - carta moneta, 236, 239
 - elementi come, 239-41
 - europio e, 236-39
 - falsificazione del, 229, 235-39
 - metalli di transizione e, 229
 - monete, 178
 - rame e, 365-66 n. 2
 - re Mida e, 229-31, 235
- deuterio, 269, 359 n. 5, 370-71 n. 5
- diamante, 79-80, 286
- dinosauri, estinzione dei, 85-86, 88, 113, 122, 302
- disprosio (Dy), 244-45
- DNA (acido desossiribonucleico)
 - acido folico e, 189
 - cellule primordiali e, 313
 - gadolinio e, 180
 - informazione genetica e, 363 n. 6
 - Linus Pauling e, 155-60, 363 n. 6
 - nomenclatura binaria delle specie e, 342
 - ritmo circadiano e, 258-59
 - zuccheri e, 333 Döbereiner, Johann Wolfgang, 247-49, 374 n. 4
 - lampada di, 249
- Domagk, Gerhard, 182, 185-90, 193, 367 n. 10
- Domagk, Hildegard, 185-86
- doppia elica, 157, 159
- doppio legame, 48
- Drake, Frank, 332, 382-83 n. 8
- equazione di, 332, 382-83 n. 8
- Dubna, 136-38, 141, 340
- dubnio (Db), 137-38, 228

- Eddington, Arthur, 326, 380-81 n.3
- Einstein, Albert
- condensato di Bose-Einstein, 287, 291, 295-98, 348, 378 n. 7
 - contro Newton, 331
 - costante alfa e, 331, 334
 - effetto fotoelettrico e, 342
 - luce e, 291
 - premio Nobel e, 342
 - Progetto Manhattan e, 135
 - relatività e, 62, 291, 323, 326, 342-43
 - spaziotempo e, 334
 - sua opinione sulle teorie, 65
- einsteinio (Es), 129-30, 343
- eka-alluminio, 62-65
- eka-lantanio, 226
- elementi
- anagrammi e, 373-74 n. 2
 - artificiali, 112
 - caratteristiche degli, 25-26
 - come moneta di scambio, 235-36
 - creazione di nuovi, 136-37
 - decadimento radioattivo degli, 114-15
 - formazione dei pianeti giganti e, 79, 81-82, 89
 - formazione dei pianeti rocciosi e, 82
 - freddo estremo e, 283, 290-91
 - impronta radioattiva degli, 153
 - instabili e fissione, 27-29, 116, 337-40
 - legami tra, 25, 27-28
 - luce e, 330
 - non ancora scoperti, 140-41, 343-44
 - origine degli, 75-78
 - Platone e, 24-25
 - scambio di posto tra, 205-206
 - scelta dei nomi degli, 14, 63, 125-32, 136-40, 148-49, 228, 244-45, 264, 340, 372 n. 8, 373-74 n. 2, 383 nn. 2 e 3
 - struttura della tavola periodica e, 23
 - superpesanti, 340-42, 383 n. 2
 - unicità nel sistema solare degli, 82
 - *si vedano anche gli specifici elementi*
- elettrica, resistenza, 24
- elettromagnetica, forza, 338-39, 383 n. 1
- elettrone/i
- accoppiamento di, 290
 - acidi e, 203
 - afnio e, 220
 - costante alfa e, 326
 - bombardamento con, 109
 - bromo e 92
 - calcolatori quantistici e, 348
 - carbonio e, 43-44, 187
 - cesio e, 323-24, 379-80 n. 2
 - europio e, 236-38
 - gadolinio e, 178-80
 - germanio e, 50
 - Gilbert Lewis e, 29-30, 33, 203
 - laser e, 291-94
 - legami ionici e, 27-28
 - metalli alcalini e alogeni e, 27
 - metalli di transizione e, 34-35
 - molibdeno e, 98
 - moti tra gli atomi degli, 25-26
 - nei livelli interni, 35, 66, 152
 - neodimio e, 292
 - nuclei superpesanti e, 341
 - orologi atomici e, 323-24
 - ossigeno e, 196
 - plutonio e, 127
 - principio di indeterminazione e, 294
 - protoni e, 26, 109, 114
 - punti quantici e, 348
 - regola dell'ottetto e, 43, 45, 180, 346, 349
 - silicio e, 48
 - stato solido e, 287, 343
 - superatomi e, 347
 - superconduttività e, 289-90
 - supernove e, 78
 - tubo di Crookes e, 275

- tungsteno e, 102
- uranio e, 152, 212
- velocità della luce e, 343-44
- xeno e, 288
- zolfo e, 187
- elio (He)
 - abbondanza dell', 38, 336, 353 n. 1
 - come idea platonica di elemento, 25-26
 - fusione fredda e, 270
 - fusione stellare e, 76-77, 89
 - Giove e, 81
 - particelle alfa e, 307-10
 - reazioni dell', 289, 296
 - superfluidità e, 24-25
- emivita, 167
- emoglobina, 60, 154, 156, 333, 363 n. 4
- encefalite letargica, 193
- energetici, livelli, 25-26, 34, 236-38
- erbio (Er), 71
- estinzioni, 85-88
- eugenetica, 51, 145, 357 n. 6, 362 n. 1
- euro, 238
- europio (Eu), 236-39
- f*orbitali, 35, 152, 219, 358
- Fajans, Kazimierz, 223, 228
- Fajans, Stefan, 371 n. 6
- falciforme, anemia, 154, 363 n. 4
- falsificazione, 229, 265-69
- feldspato, 68-69
- Fermi, Enrico, 151-53, 202, 225-26, 331-32, 382 n. 7
- Fermi, paradosso di, 332, 334
- fermio (Fm), 129, 331
- ferro (Fe)
 - fusione stellare e, 77-78
 - meteoriti e, 84-85
 - molibdeno e, 98
 - nascita dei pianeti rocciosi e, 82
 - nel nucleo terrestre, 85
 - tungsteno e, 102
 - vita e, 333
- fertilizzanti, 93-94
- Feynman, Richard, 326, 343
- fisica e chimica, divergenze tra, 212, 219-21
- fissione
 - bombe atomiche e, 116, 122
 - David Hahn e, 171, 173
 - elementi instabili e, 27-29, 116, 337-40
 - Emilio Segrè e, 152-63
 - Enrico Fermi e, 151
 - Ernest Lawrence e, 151
 - Georgij Flërov e, 135
 - Ida Noddack e, 151-52, 362-63 n. 2
 - Lise Meitner e, 226-27
 - Luis Alvarez e, 113
 - modello a goccia della, 361 n. 4
 - nel sito di Oklo, 327-29
 - Otto Hahn e, 226-27
 - uranio e, 113, 171-73
- Fleischmann, Martin, 269-70, 272, 273-74, 277
- Flërov, Georgij Nikolaevic, 135-36
- fluorescenza, 237, 372 n. 2
- fluoro (F), 133, 288, 290, 372 n. 2
- fosforo (P), 155-57, 159, 372 n. 2
- fotoelettrico, effetto, 342
- fotoni, 291, 294-97, 324, 377 n. 6
- fotosintesi, 327, 333
- Francia
 - Affare Dreyfus, 214
 - alluminio e, 240-41
 - dazi sui beni dalla, 304
 - guerra chimica e, 93, 95-96, 98-99, 102
 - nomi degli elementi e, 63
 - rapporti con la Germania della, 92, 95-96, 98-99, 102, 221, 367 n. 9
 - rapporti con la Russia della, 286
- francio (Fr), 146, 336-41, 374 n. 5, 383 n. 1
- Franck, James, 222
- freddo
 - coerenza e, 291-98

- proprietà degli elementi e, 283, 285
- Robert Falcon Scott e, 283-85
- stagno e, 285-86
- struttura cristallina e, 288-89
- superconduttori e, 287, 289-91
- Frisch, Otto, 226
- fusione
 - costante alfa e, 325
 - «da tavolo» (*desktop fusion*), 316
 - fredda, 269-74, 316, 376 n. 7
 - Giove e, 80-81, 359 n. 5
 - laser e, 293
 - nelle stelle, 76-78, 89, 171, 325, 369 nn. 2 e 4
 - sonofusione e, 316
 - superbombe e, 121-24
- Gadolin, Johan, 70-71
- gadolinio (Gd), 71, 104, 178-80, 366 n. 5
- gallio (Ga), 63-65, 245, 358 n. 3
- gamma, decadimento, 114
- gamma, raggi, 122-23
- Gandhi, Mohandas Karamchand *detto* Mahatma, 205-207, 211
- gas nobili
 - alluminio e, 347
 - elettricità e, 307
 - idee platoniche e, 26
 - metallici, 341
 - nei composti a bassa temperatura, 288
 - nomi dei, 245
 - sonoluminescenza e, 316
 - stabilità dei, 38
 - struttura della tavola periodica e, 23, 36-37, 61
- gassosi
 - elementi, 23
 - pianeti giganti, 79, 81-82, 89
- Germania
 - emigrazione di scienziati dalla, 213, 225, 227
 - guerra chimica e, 93-96, 224
 - importanza per la chimica della, 43-44
 - molibdeno e, 97-101
 - premio Nobel e, 189-90, 221-22
 - rapporti con la Francia della, 92, 95-96, 98-99, 102, 221, 367 n. 9
 - riparazioni di guerra della, 97
 - tungsteno e, 101-104
- germanio (Ge)
 - circuiti integrati e, 53-54
 - confronto con il silicio, 49-50, 54-55
 - semiconduttori e, 51-52, 290, 362 n. 1
- ghiorsio, 140-41
- Ghiorso, Albert, 125, 127-31, 137, 140, 145, 173, 228
- Giappone, 98, 101, 116, 119, 123, 161-64, 168
- Giove, 79-82, 88-89, 359 n. 5
- Glaser, Donald, 299-302, 309, 312, 317
- Goeppert-Mayer, Maria, 37-40, 338
- Goethe, Johann Wolfgang von, 245-50, 254-56, 260, 374 n. 4
- grafite, 230, 286
- Gran Bretagna
 - abolizione dei dazi in, 304
 - guerra chimica e, 95
 - tungsteno e, 103
- Grande Berta (cannone), 98-99, 101
- gravità, forza di, 343, 380-81 n. 3, 383 n. 1
- gravitazionale, costante, 380 n. 3
- greco antico, lingua, 244-45, 264, 342
- gusti, 201-204, 369-70 n. 4
- gusto, recettori del, 201-204
- Haber, Fritz
 - guerra chimica e, 94-97, 188
 - Metallgesellschaft e, 99-100
 - produzione di nitrati e, 93, 94, 97
 - rapporti con Clara Immerwahr di, 94, 96
- Hahn, David, 170-75, 365 n. 2

Hahn, Otto, 113, 137, 223-28,
372 n. 8

Hale-Bopp, cometa, 79

Hall, Charles, 240, 242-43, 372-
73 n. 4

Hannan's Find, 233-34

hassio (Hs), 138, 383 n. 3

Heisenberg, Werner, 293

Hevesy, György, 217-23, 226-27,
370-71 n. 5

Hiroshima, 119, 123

Hitler, Adolph, 102, 146, 189, 222,
224-25

Hoyle, Fred, 76, 80

Hubble, telescopio spaziale, 332

Hutton, James, 309

idrogeno (H)

- abbondanza dell', 38, 336
- acqua pesante e, 222, 269-70,
274, 370-71 n. 5
- camera a bolle e, 300-302
- composti dell'argo e, 288
- fusione stellare e, 75-77
- meccanica quantistica e, 114
- palladio e, 270, 272, 274
- pesante, 269-70
- platino e, 249
- senso del gusto e, 203
- superbomba all', 121-22

IGF (LG. Farbenindustrie), 188-
89, 367 n. 10

Immerwahr, Clara, 94, 96

immunitaria, risposta, 198-200

indeterminazione, principio di,
293-95, 298, 377-78 n. 6

India, 205-207

indio (In), 348

inerti, gas, 196-97, 315-16, 368-69
n. 1

Inghilterra, *si veda* Gran Bretagna

integrati, circuiti, 53

interazione nucleare

- debole, 383 n. 1
- forte, 338-39, 383 n. 1

International Union of Pure and

Applied Chemistry (IUPAC),
137-38, 362 n. 5, 372 n. 8

interstellare, nube, 329-30

intuitive, scienze, 304-305

iodato, sale, 133, 206-207

iodio (I), 195, 205-208, 211, 248,
338

ione/i

– di argento, 182

– di europio, 238

– di magnesio, 333-34

– DNA e, 157, 159

– formazione degli, 26

– legami ionici, 27-28

– senso del gusto e, 203

iridescente, cristallo, 167, 168

iridio (Ir)

– componente del chilogrammo
campione, 319, 321-22, 324

– densità dell', 354 n. 2

– ferro e, 85

– minerali di, 86-89

– nelle penne Parker 51, 252,
374 n. 6

– tecnezio e, 150

«isola di stabilità», 336, 339-41
isotopi

– del neodimio, 328

– del piombo, 83-84, 114-15

– Ernest Lawrence e, 150

– neutroni e, 38-39, 115

– William Crookes e, 265

itaiitai (malattia), 161, 163-65

itterbio (Yb), 71, 366-67 n. 6

ittrio (Y), 71, 148, 271, 292-93

Jabbour, Zeina, 321, 379 n. 1

Jewett, Frank Fanning, 242

Joliot-Curie, Frédéric, 216

Joliot-Curie, Irene, 152, 216-17,
222-23, 225-26

K20, campione del chilogrammo
ufficiale, 320-21, 379 n. 1

Kamioka, miniera di, 161-63, 165,
169

kaoni, 299-300

- Kelvin, Lord (William Thomson), 305, 308-13, 378 n. 2
- Kilby, Jack, 53-54, 348, 357 n. 7
- King, Otis, 99-101
- Knowles, William, 192-94, 368 n. 13
- kripto (Kr), 26, 140, 288, 322
- lacrimogeno, gas, 92, 95
- Langevin, Paul, 214
- lantanidi, 35-36, 66, 67, 69-71, 237, 344-45
- lantanio (La), 66, 219, 225-26
- laser
- ammoniaca e, 360 n. 2
 - «di materia», 298
 - elettroni e, 291-94
 - europio e, 236
 - neodimio e, 104, 292-93
 - raffreddamento grazie al, 297
- latino, uso del, 14, 245, 264, 342, 383 n. 3
- latte, 176
- Laue, Max von, 222-23
- laurenzio (Lr), 131
- Lawrence, Ernest, 131, 149-51, 370-71 n. 5
- L-dopa, 193-94, 195
- Lecoq de Boisbaudran, Paul-Emile-Francois, 63-65, 71, 357-58 n. 2
- legami atomici, 25, 29-30, 44, 48
- Lewis, Gilbert
- elettroni e, 29-30, 33, 203
 - premio Nobel e, 29, 33, 36, 146, 222, 370-71 n. 5
 - Progetto Manhattan e, 33
- liquidi, elementi, 23
- litio (Li)
- abbondanza del, 38
 - come stabilizzatore dell'umore, 256-60
 - fusione stellare e, 77
 - nell'universo giovane, 76
 - reattori nucleari e, 172
 - senso del gusto e, 203
- Litvinenko, Alexandr, 169, 216-17
- Los Alamos, 118, 120, 368-69 n. 1
- Lowell, Robert, 256-60, 261
- luce
- chiralità e, 183-84
 - cromo e, 330
 - dualità onda-particella della, 291-95
 - elementi e, 330
 - fluorescenza, 237, 372 n. 2
 - misure di lunghezza e, 322-23
 - salti di livello degli elettroni e, 237-38, 292
 - separazione dell'uranio tramite la, 37
 - velocità della, 325, 343-44, 381-82 nn. 6 e 7
- lutezio (Lu), 219, 221, 245
- Lysenko, Trofim Denisovic, 133, 135
- maccartismo, 132, 158
- magici, numeri, 39, 340-42
- magnesio (Mg), 77-78, 136, 199, 203, 257, 333-34
- magnetizzazione, 179
- manganese (Mn), 266-69, 366 n. 2, 373 n. 2, 376 n. 5
- Marte, 79, 82, 85, 333, 359 n. 6, 382-83 n. 8
- maser, 292-93, 324, 360 n. 2
- materia, stati della, 287, 289, 291-93, 295-98
- Mayer, Joseph, 37
- McMillan, Edwin, 126-27, 153, 160, 302
- megalodonte, 266-69, 271, 277, 375-76 n. 4
- Meitner, Lise, 152, 223-28, 361 n. 4
- meitnerio (Mt), 138, 228
- Mendeleev, Dmitrij Ivanovic
- atomi e, 357-58 nn. 1 e 2
 - come padre della tavola periodica, 55, 58-66, 67, 148, 212, 249, 345
 - lantanidi e, 66, 67, 71
 - mendelevio e, 131
 - Niels Bohr e, 220-21
 - peso atomico e, 60, 64, 205

- mendelevio (Md), 131,137
- mercurio (Hg)
 - alchimia e, 12,15, 353 n. 1,365 n. 1
 - come liquido, 23, 343
 - come veleno, 13-14,164-65, 365 n. 1
 - nel fegato bovino, 318
 - peso atomico del, 60
 - proprietà del, 11-12
 - superconduttività e, 24, 290
- Mercurio, pianeta, 82, 85, 343
- Metallgesellschaft, 99-100
- metalli, classe dei, 23, 69, 333
- metalli pesanti, 134,165,169,181
- metallico, idrogeno, 80-81
- meteoriti, 84-86
- metro, 322, 324-25
- metrologia, 322, 324
- Meyer, Julius Lothar, 60-61, 64, 66
- microchip, 54
- Miescher, Friedrich, 155, 360 n. 9, 363 n. 5
- miracolina, 202-204
- miti, 104-105, 229-31, 235, 244
- Moholy-Nagy, László, 250-51, 253
- molibdeno (Mo), 97-102,104,149-50, 244
- Montecarlo, metodi, 117,120-22
- Moseley, Henry, 109-11, 114-15, 221, 279, 360-61 nn. 1 e 2
- muoni, 299-300
- mutual assured destruction*, 123
- Nagasaki (Giappone), 119, 123, 164
- nana marrone, stella, 80
- nane bianche, stelle, 77
- NASA (National Aeronautics and Space Administration), 79, 195-98, 303
- National Institute of Standards and Technology, 318, 321
- nazismo, 101-103, 189-90, 217, 222-24,227, 359 n. 1
- Nemesi, stella, 87-89, 359-60 n. 8
- neodimio (Nd), 104, 245, 292-93, 328
- neon (Ne), 26, 81, 289
- Nernst, Walther, 29, 354 n. 3
- nettunio (Np), 79,126-27,153
- Nettuno, 79,126, 343
- Neumann, John von, 120-21, 293-94
- neutroni
 - acqua pesante e, 222, 269
 - «bomba salata» e, 122
 - cannoni a, 173-74
 - gadolinio e, 180
 - idrogeno e, 269
 - interazione nucleare forte e, 338-39
 - isotopi e, 38,115
 - nuclei e, 39
 - numeri magici e, 339-40
 - particelle alfa e, 128
 - radioattività e, 115,171-72
 - reazione a catena e, 117-18, 327-28
 - supernove e, 78
 - *si veda anche* nucleo
- «New York Times», 112, 188, 364 n. 9, 376 n. 1
- «NewYorker», 125,128,138
- Newton, Isaac, 31, 54, 235-36, 246, 331
- nichel (Ni), 109-10, 134, 203, 359 n. 4
- Ninov, Victor, 140-41
- niobio (Nb), 105-106,148
- Nobel, Alfred, 131
- Nobel, premio
 - Albert Einstein e, 342
 - Alfred Nobel e, 131
 - Carl Wieman e, 298
 - Donald Glaser e, 302
 - Edwin McMillan e, 153
 - Emilio Segrè e, 160, 364 n. 9
 - Enrico Fermi e, 151, 331
 - Eric Cornell e, 298, 378 n. 7
 - Ernest Rutherford e, 307, 309
 - Francis Crick e, 160
 - Fritz Haber e, 97

- Gerhard Domagk e, 189
- Germania e, 189-90, 221-22
- Gilbert Lewis e, 29, 33, 36, 146, 222, 370-71 n. 5
- Glenn Seaborg e, 126
- György Hevesy e, 221-22, 227
- Irene Joliot-Curie e, 217, 222
- James Franck e, 222
- James Watson e, 160
- John Bardeen e, 52, 290
- Kazimierz Fajans e, 223, 228, 371 n. 6
- Leon Cooper e, 290
- Linus Pauling e, 160
- Lise Meitner e, 227-28
- Maria Goeppert-Mayer e, 36, 38, 40
- Marie Curie e, 213-15, 217
- Max von Laue e, 222-23
- Niels Bohr e, 220
- Otto Hahn e, 227-28
- Pierre Curie e, 213-14
- Robert Schrieffer e, 290
- scienziati americani e, 146
- superconduttività e, 271
- Walter Brattain e, 52
- Wilhelm Röntgen e, 278
- William Bragg e, 158
- William Knowles, 193
- William Shockley e, 52
- nobelio(No), 131
- Noddack, Ida, 149, 151-52, 362 n. 2
- Noddack, Walter, 149-50
- Noril'sk (Siberia), 134, 361 n. 3
- nucleari, reattori, 170-74
- nucleici, acidi, 156, 158
- nucleo/i
 - astato e, 338
 - costante alfa e, 325-26
 - elettroni e, 36
 - fissione e, 327-28
 - francio e, 338, 340
 - Maria Goeppert-Mayer e, 37-40
 - protoni e numero atomico e, 109-10
 - radioattività e, 114
 - stabilità del, 38, 116, 166, 339-41
 - superconduttività e, 290
 - *si vedano anche* neutroni e protone
- nucleosintesi stellare, 76, 84
- nutrienti, 160, 180
- Ogawa, Masataka, 148-49, 360 n. 1
- Oklo, sito di (Africa), 327-29
- oligodinamica, proprietà, 177-78
- olmio (Ho), 39-40, 71
- onda-particella, dualità, 291-95
- orbitali, 179, 341, 346, 348
- organiche, molecole, 313, 333-34
- oro (Au)
 - come terapia contro il cancro, 366 n. 5
 - estetica dell', 250
 - estrazione dell', 161, 232-33
 - malleabilità dell', 252
 - mercurio e, 12
 - tellurio e, 233-35
 - vanadio e, 136
- osmio (Os), 93, 147, 252, 354 n. 2, 359 n. 7
- ossa
 - cadmio e, 162-63
 - calcio e, 163, 303
 - come schiuma, 303
 - fossili, 266
 - raggi X e, 217, 276-77, 278
 - titanio e, 199-200, 275
- ossigeno (O)
 - acqua e, 269
 - alluminio e, 240, 242
 - emoglobina e, 60, 154
 - NASA e, 196-98, 368-69 n. 1
 - negli aminoacidi, 43, 155
 - prontosile, 187
 - sonoluminescenza e, 315
 - stabilità del nucleo dell', 38-39, 166
- ottetto, regola dell', 43, 45, 170, 187, 346, 349
- ottone, 231, 233
- p*, orbitali, 34
- palladio (Pd), 269-70, 272, 274

- Parker, Kenneth, 251-53
Parker 51, penna, 251-54, 374 n. 6
particelle
– alfa, 128-30, 136, 140, 174, 307-309, 341
– beta, 41, 307
– luce composta da, 291-95
– principio di indeterminazione e, 293-95, 298, 377-78 n. 6
– subatomiche, 114, 119, 217, 219, 225, 299, 301
Pasteur, Louis, 182-86, 190-92, 194
Pasteur, Istituto, 184, 188-89
pastorizzazione, 184
patologica, scienza
– fusione fredda, 269-74, 316, 376 n. 7
– megalodonti e, 267-69, 271, 277
– origini del termine, 375 n. 1
– *vs.* scienza politicizzata, follia e pseudoscienza, 265
– William Crookes e, 261-66, 268, 275-77, 375 n. 3
Patterson, Clair, 83-85
Pauling, Linus
– biologia e, 154, 161, 363 n. 4
– DNA e, 155-60, 363 n. 6
– Donald Glaser e, 302
– Emilio Segrè e, 146-47, 153
– premio Nobel e, 160
Pauling, Peter, 157-58
pechblenda, 213, 306
penicillina, 147
periodica, tavola
– atomi e, 16
– costante alfa e, 326-27
– Dmitrij Ivanovic Mendeleev e, 55, 58-66, 67, 148, 212, 249, 345
– elettroni e, 29-30, 34-36
– Goethe e, 245-50
– Johann Wolfgang Döbereiner e, 248-49
– Julius Lothar Meyer e, 60
– struttura della, 21-24, 26-28, 40, 59-60, 109, 344-45, 349, 350, 388-89
– variazioni della, 344-49, 384 n. 4
Perrier, Carlo, 149-50
peso, misura del, 318-22
pianeti, origine dei, 79, 82
piombo (Pb)
– a Noril'sk, 134
– bianco, 230
– carbonio e silicio e, 341
– come veleno, 165-66
– elemento 118 e, 140
– estrazione del, 161
– età della Terra e, 83-85
– isotopi del, 83, 114-15
– polonio e, 309
– presenza nell'ambiente del, 84-85
– radioattività e, 217-18
– Unione Europea e, 107
pioni, 299-300
pirite, 232-34
Planck, costante di, 294-95, 382 n. 7
plasma, 287, 289, 376 n. 2
platino (Pt), 249-50, 319, 321-22, 324
Platone, 24-26, 35, 39
Plutone, 79
plutonio (Pu)
– americio e curio e, 128
– bombe atomiche e, 113, 117-19, 121-22, 165
– metodi Montecarlo e, 117
– origine del nome, 79, 127
– nettunio e, 127
– valore del, 239
pneumonoconiosi, 45-46, 202
polmonite, 202
Polonia, 211-17
polonio (Po), 165, 169, 214-17, 255-56, 306, 309
Pons, B. Stanley, 269-74, 277
porcellana, 68-70
Portogallo, 101-104
positrone, 160, 346

- potassio (K), 165,171, 203-205
 praseodimio (Pr), 244-45, 291
 prima guerra mondiale
 – domanda di metalli in Giappone e, 162
 – guerra chimica durante la, 91-96, 227, 360 n. 1
 – Henry Moseley e, 108-109,111
 – molibdeno e, 97-102
 – nome degli elementi e, 149
 Progetto Manhattan
 – Albert Einstein e, 135
 – Clair Patterson e, 83
 – Gilbert Lewis e, 33
 – Glenn Seaborg e, 126-27
 – Leo Szilárd e, 123
 – Linus Pauling e, 160
 – Lise Meitner e, 228
 – Maria Goeppert-Mayer e, 37
 – metodi Montecarlo e, 117,120-22
 – particelle subatomiche e, 299
 – premi Nobel e, 227-28
 – separazione dell'uranio e, 173
 promezio (Pm), 112, 116, 123, 244, 359 n. 2
 prontosil, 185,187-89,193
 proteine
 – aminoacidi e, 43-44,155
 – carbonio e, 42
 – cellule primordiali e 313
 – chiralità delle, 182-83
 – DNA e, 156
 – Linus Pauling e, 154
 – ritmo circadiano e, 258
 protesi, 199-200
 protoattinio (Pa), 112, 172, 205, 223-24,265
 protone/i
 – acidi e, 30
 – decadimento del, 169
 – elettroni e, 26,109,114
 – idrogeno e, 270
 – interazione nucleare forte e, 339
 – livelli energetici e, 39
 – numeri magici e, 340
 – numero atomico e, 38,109-10
 – particelle alfa e, 128
 – peso atomico e, 38,115
 – reattori autofertilizzanti e, 171-72
 – supernova e, 78
 – *si veda anche* nucleo
 Putterman, Seth, 314-16, 378 n. 1
 quantici, punti, 347-49
 quantistica, meccanica
 – Albert Einstein e, 287, 342-43
 – come strumento matematico, 114,119
 – «effetto fotoelettrico» e, 342
 – elettroni e, 237
 – in contrasto con la relatività, 343
 – Linus Pauling e, 154
 – Niels Bohr e, 219-21, 293
 – principio di indeterminazione e, 293
 – punti quantici e, 347
 – reazioni a catena e, 117
 – Satyendra Nath Bose e, 295
 – Stalin e, 134
 quantistica, schiuma, 312
 quasar, 329-30
 rabbia, vaccino contro la, 184,186
 radio (Ra), 215, 216, 255-56, 306, 309, 341, 370 n. 1,381 n. 5
 radioattività
 – avvelenamento da, 164-65,169, 173-74
 – berillio e, 202
 – decadimento e, 114-15,167-68, 336-37, 341, 381 n. 5, 383 n. 2
 – Ernest Rutherford e, 305-11
 – età della Terra e, 83-85, 308-11
 – gadolinio e, 180
 – impronta della, 153
 – Irene Joliot-Curie e, 216-17
 – Lord Kelvin e, 309-10
 – traccianti e, 217, 219, 221
 – Marie Curie e, 117, 128, 212-15, 255

- neutroni e, 115,171-72
- piombo e, 217-18
- polonio e, 165, 169, 215-17, 256, 306, 309
- rilevatori di, 128, 130-31, 136, 141,218
- uranio e, 212
- William Crookes e, 265
- radon (Rn), 26,169, 306-307, 309
- rame (Cu), 161, 177-78, 181, 230-31, 235, 289, 365-66 n. 2
- relatività, 62, 134, 291, 323, 326, 342-44
- renio (Re), 87-89,149, 359 n. 7
- Revigator, 215, 216
- risonanza magnetica (MRI), 104, 179-80
- RNA, prime cellule e, 313
- rodio (Rh), 192-93,195, 240
- roentgenio (Rg), 139, 279
- Röntgen, Bertha, 277, 278
- Röntgen, Wilhelm, 139, 275-78, 283
- Royal Society, 261-63, 265
- Ruanda, 105,107
- rubidio (Rb), 296-98, 379-80 n. 2
- Russia, 97, 132, 135,140, 286; *si veda anche* Unione Sovietica
- rutenio (Ru), 132, 252, 374 n. 6
- Rutherford, Ernest, 108-10, 114, 217, 305-11, 316, 361 n. 4, 370 n. 1
- rutherfordio (Rf), 138, 310, 340
- s*, orbitali, 34
- Sacks, Oliver, 193-94, 376 n. 5
- Salazar, Antonio, 101-104
- saldatura, 107
- sale, 206-207
 - comune, 203
- samarium (Sm), 132,135, 328-29
- scandio (Sc), 104
- Scerri, Eric, 64, 89, 357-58 n. 2, 370 n. 4
- schiuma, 303, 312, 378-79 n. 2
- Schott, Max, 100-101
- Schrieffer, Robert, 290, 377 n. 5
- Scott, Robert Falcon, 283-88, 376 n. 1
- Seaborg, Glenn
 - curio e, 214
 - Emilio Segrè e, 153
 - Ernest Lawrence e, 151
 - hahnio e, 228
 - mendelevio e, 131
 - plutonio e, 239
 - scoperta di nuovi elementi da parte di, 125-29, 137, 145, 361 n.2
 - seaborgio e, 137-38, 139
 - tavola periodica e, 345, 349
- seaborgio (Sg), 137-38, 139
- seconda guerra mondiale
 - emigrazione a causa della, 146
 - Gilbert Lewis e, 33
 - I.G Farbenindustrie e, 367 n. 10
 - miniere di Kamioka e, 163
 - molibdeno e, 97-98
 - penna Parker 51 e, 253
 - scienza nucleare e, 116-17
 - scienziati assegnati a ricerche militari durante la, 127
 - sulfamidici e, 190
 - tungsteno e, 97-98,101-104
 - *si veda anche* Progetto Manhattan
- Segrè, Emilio
 - antiprotoni e, 346
 - fissione e, 152-53
 - Linus Pauling e, 146-47,153
 - premio Nobel e, 160, 364 n. 9
 - promezio e, 112
 - sulla copertina di «Time», 145
 - tecnezio e, 150
- selenio (Se), 248, 261, 264-65
- semiconduttori, 49-52, 54, 243, 290, 347-48, 372 n. 3
- Shakespeare, William, 41, 76, 215, 245-46, 256
- Shlyakhter, Alexander, 327-29
- Shockley, William
 - amplificatori e, 49-50

- eugenetica e, 51, 145, 357 n. 6, 362 n. 1
- premio Nobel e, 52
- sulla copertina di «Time», 302
- transistor al germanio e, 50-51, 362 n. 1
- Shoemaker-Levy, cometa, 79, 89
- siderofilo, 85, 359 n. 7
- silicio (Si)
 - come base della vita, 45-48
 - come sostituto del carbonio, 45
 - complessità degli organismi e, 357 n. 4
 - fusione stellare e, 78
 - paragonato al germanio nei semiconduttori, 52, 54
 - piombo e, 341
 - pneumonoconiosi e, 45-46
 - semiconduttori e, 49-55, 243, 372 n. 3
- sistema solare
 - elementi caratteristici del, 80
 - origine del, 78-80, 82
- sodio (Na), 165, 203, 291, 347
- Sole, 76-77, 79, 86-89, 325, 360 n. 9
- solforico, acido, 203
- sonar, 314-15
- sonoluminescenza, 314-16, 378 n. 1
- Sparta, 91-92, 235
- spettroscopio, 57-58, 63, 66, 110
- spin, 179, 348
- spiritismo, 262-63, 265-66
- Sputnik*, 131, 137
- squalo, denti di, 267
- stagno (Sn), 49, 107, 230-31, 284-86, 289
 - lebbra dello, 286, 288, 376 n. 1
- Stalin, 133-36
- standardizzazione, enti di, 318-23
- Stati Uniti d'America
 - alluminio e, 240-41
 - avvelenamento da berillio e, 369 n. 2
 - commercio di tungsteno e, 103
 - Convenzione dell'Aia (1899) e, 91-92
 - maccartismo e, 158
 - *mutual assured destruction* e, 123
 - ricerche nucleari, 119
 - scienziati assegnati a ricerche militari dal, 127
- stronzio (Sr), 248-49
- struttura fine
 - costante di, 325, 329, 331, 334, 343; *si veda anche* alfa, costante e elettroni, 323
- subatomiche, particelle, 114, 119, 217, 219, 225, 299, 302
- sulfamidici, 189-90
- sulfonammide, 189
- superatomi, 347, 349
- superbombe, 121-24
- superconduttività, 287, 289-91
- superconduttori, 271, 287, 289-91, 296, 317
- superfluidità, 25, 287, 296, 298
- supernove, 78, 82-83, 86, 89-90, 108
- superpesanti, elementi, 339-42, 383 n. 2
- supersolidi, 298
- Svezia, 66, 69-70, 90, 358 n. 4
- Svizzera, 103
- Szilárd, Leó, 115, 122-23
- tabacco, virus del mosaico del, 42-44, 355-56 n. 2
- tachioni, 344
- talidomide, 191-92, 367-68 n. 12
- tallio (Tl), 14, 165-66, 169, 261, 264-65, 365 n. 1
- tantalio (Ta), 105-106, 131
- tartarico, acido, 183-84
- tecnizio (Tc), 76, 112, 150, 152, 160
- tellurio (Te), 201, 204-205, 233-35, 248, 372 n. 1
- temperatura
 - calaverite e, 234
 - elio e, 77
 - fusione «da tavolo» e, 316
 - gallio e, 63, 358 n. 3
 - germanio e, 51
 - guerra chimica e, 95

- ittrio e, 271
- magnesio e, 333
- molibdeno e, 98
- palladio e, 270
- porcellana e, 68-69
- silicio e, 47
- standard metrici e, 319
- stato della materia e, 23, 343
- velocità delle particelle e, 297
- *si veda anche* freddo
- tempo, misura del, 323-24
- terbio (Tb), 71
- termodinamica, stime dell'età della Terra grazie alla, 308-11
- Terra
 - costante gravitazionale e, 380 n.3
 - elementi e, 195, 240, 242, 265, 311, 328, 336, 342, 353-54 n. 1, 357 n. 4
 - equazione di Drake e, 382-83 n.8
 - età della, 79-81,308
 - misure di tempo e, 324-25
 - vita e, 331-34
- terre rare, 36, 66, 111, 152-53, 219, 221,225
- Texas Instrument, 53-54
- Thompson, D'Arcy Wentworth, 313
- Thomson, William (LordKelvin), 305, 308-13, 378-79 n. 2
- «Time»
 - comitato Nobel e, 228
 - Noril'sk e, 361 n. 3
 - promezio e, 112, 361 n. 3
 - uomo dell'anno per, 145, 154, 295, 302
 - William Shockley e, 302
- tiroide, 207-208, 338
- titanio (Ti), 199-201,275,311,381 n. 5
- torio (Th)
 - come tonico per la salute, 215
 - David Hahn e, 171
 - elementi superpesanti e, 383 n.2
 - inversione con il protoattinio del, 205
 - magnesio e, 136
 - origine del nome, 244
 - uranio e, 309
- Townes, Charles, 293, 295, 360 n. 2
- traccianti, 217, 219, 221
- transistor
 - al germanio, 290, 362 n. 1
 - al silicio, 50-54
- transizione, metalli di, 34-36,152, 219-20, 229, 344-45
- transuranici, elementi, 126, 151-53, 225-26, 228, 331, 339
- triade, 55, 248-49
- tripla elica, 156-59
- Tschirnhaus, Ehrenfried Walter von, 68-69
- tulio (Tm), 36, 71
- tungsteno (W), 97-98, 101-104, 366 n. 3
- Twain, Mark, 253-56, 260, 374-75 n. 7
- Ulam, Stanislaw, 119-21
- Unione Europea, 107, 238
- Unione Sovietica
 - atteggiamento nei confronti della scienza in, 132-37
 - bomba atomica e, 123,135-36
 - guerra chimica e, 97
 - ricchezza mineraria della, 132
 - scoperta di nuovi elementi e, 132,137
 - *si veda anche* Russia
- Università della California a Berkeley
 - Donald Glaser e, 302
 - Emilio Segrè e, 146-47, 150, 159-60
 - Ernest Lawrence e, 370-71 n. 5
 - Gilbert Lewis e, 29, 33,146
 - Glenn Seaborg e, 345
 - Linus Pauling e, 364 n. 8
 - Luis Alvarez e, 113
 - scoperta di nuovi elementi alla, 125-31,136, 339

- Università di Chicago, 37, 202
 uranio (U)
 – berillio e, 202
 – bomba atomica e, 113, 117, 119, 121, 165
 – elementi transuranici e, 225-26, 339
 – elettroni interni dell', 151
 – elio e, 309-11
 – età della Terra e, 83-85, 308-11
 – fissione e, 113, 171-73
 – Marie e Pierre Curie e, 212-13
 – Oklo e, 327
 – separazione con la luce dell', 37
 – stabilità dell', 340
 – Urano e, 79, 126
 – zirconio e, 311
 Urbain, Georges, 111, 221, 360 n. 1
 vaccini, mercurio e, 353 n. 1
 vanadio (V), 136, 178, 366 n. 3
 veleno
 – berillio come, 331, 369 n. 2
 – cadmio come, 161-65, 169
 – mercurio come, 13-14, 164-65, 365 n. 1
 – piombo come, 165-66
 – polonio come, 165
 – radiazioni come, 164-65, 169, 173-74
 – radon come, 169
 – tallio come, 14, 165-66, 365 n. 1
 Volta, Alessandro, 203
 vulcani, 46-48, 86, 333
 vulcanizzazione, 147
 Washington, George, monumeto a, 241, 243
 Watsonjames, 157-60, 269, 356 n. 2, 363-64 nn. 6 e 7
 Wheeler, John Archibald, 312
 Wieman, Cari, 297-98, 378 n. 7
 X, raggi, 109, 114, 217, 276-77
 – cristallografia a, 157
 xeno (Xe), 26, 288, 315, 373-74 n. 2
 Young, Graham Frederick, 166, 170
 Ytterby (Svezia), 67, 69-71, 90, 111, 358 n. 4
 Yucatan, cratere dello, 86
 Zaire, *si veda* Congo, Repubblica Democratica del
 zecca reale d'Inghilterra, 235-36
 zero assoluto, 297-98, 348
 zinco (Zn), 162-63, 181, 199, 231, 235
 zirconio, età della Terra e, 311
 zirconio (Zr), 219-20, 311
 zolfo (S)
 – cadmio e, 163
 – DNA e, 156, 363 n. 6
 – guerra chimica e, 91
 – inquinamento da, 164
 – Noril'sk e, 134
 – prontasil e, 185, 187-88
 – sulfonammidi e, 189
 – triadi e, 248
 zuccheri, 48, 156, 201-202, 204, 313, 333, 367 n. 8
 Zyklon A e B, 97, 188, 367 n. 10

TAVOLA PERIODICA

1 H 1.008								
3 Li 6.941	4 Be 9.012							
11 Na 22.990	12 Mg 24.305							
19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.861	23 V 50.941	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.993
37 Rb 85.468	38 Sr 87.621	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.942	43 Tc 98.906	44 Ru 101.072	45 Rh 102.905
55 Cs 132.905	56 Ba 137.327	57-71	72 Hf 178.492	73 Ta 180.948	74 W 183.841	75 Re 186.207	76 Os 190.233	77 Ir 192.217
87 Fr 223	88 Ra 226	89-103	104 Rf (267)	105 Db (268)	106 Sg (271)	107 Bh (270)	108 Hs (277)	109 Mt (276)

⁵⁷ La 138.905	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.908	⁶⁰ Nd 144.242	⁶¹ Pm 145.0	⁶² Sm 150.362	⁶³ Eu 151.964
⁸⁹ Ac 227	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 231.036	⁹² U 238.029	⁹³ Np (237)	⁹⁴ Pu (244)	⁹⁵ Am (243)

																He ² 4.003					
																B ⁵ 10.812	C ⁶ 12.011	N ⁷ 14.007	O ⁸ 15.999	F ⁹ 18.998	Ne ¹⁰ 20.180
																Al ¹³ 26.982	Si ¹⁴ 28.086	P ¹⁵ 30.974	S ¹⁶ 32.066	Cl ¹⁷ 35.453	Ar ¹⁸ 39.948
Ni ²⁸ 58.693	Cu ²⁹ 63.546	Zn ³⁰ 65.384	Ga ³¹ 69.723	Ge ³² 72.641	As ³³ 74.922	Se ³⁴ 78.963	Br ³⁵ 79.904	Kr ³⁶ 83.798													
Pd ⁴⁶ 106.421	Ag ⁴⁷ 107.868	Cd ⁴⁸ 112.412	In ⁴⁹ 114.818	Sn ⁵⁰ 118.711	Sb ⁵¹ 121.760	Te ⁵² 127.603	I ⁵³ 126.904	Xe ⁵⁴ 131.294													
Pt ⁷⁸ 195.085	Au ⁷⁹ 196.967	Hg ⁸⁰ 200.592	Tl ⁸¹ 204.383	Pb ⁸² 207.2	Bi ⁸³ 208.980	Po ⁸⁴ 209	At ⁸⁵ 210	Rn ⁸⁶ 222													
Ds ¹¹⁰ (281)	Rg ¹¹¹ (280)	Cn ¹¹² (285)	Uut ¹¹³ (284)	Uuq ¹¹⁴ (289)	Uup ¹¹⁵ (288)	Uuh ¹¹⁶ (293)	Uus ¹¹⁷ (294)	Uuo ¹¹⁸ (294)													
Gd ⁶⁴ 157.253	Tb ⁶⁵ 158.925	Dy ⁶⁶ 162.500	Ho ⁶⁷ 164.930	Er ⁶⁸ 167.259	Tm ⁶⁹ 168.934	Yb ⁷⁰ 173.043	Lu ⁷¹ 174.967														
Cm ⁹⁶ (247)	Bk ⁹⁷ (247)	Cf ⁹⁸ (251)	Es ⁹⁹ (252)	Fm ¹⁰⁰ (257)	Md ¹⁰¹ (258)	No ¹⁰² (259)	Lr ¹⁰³ (262)														

«... se un giorno gli alieni dovessero davvero atterrare, mi piacerebbe che rimanessero impressionati dalla nostra ingegnosità... forse la cara vecchia griglia di righe, colonne e torrette li conquisterà con la sua meravigliosa e pura semplicità. E forse, nonostante i tanti modi alternativi di sistemare gli elementi a loro noti, nonostante la loro esperienza con superatomi e punti quantici, ci vedranno qualcosa di nuovo. Mentre spieghiamo loro come leggere le varie caselle, faranno un fischio (o chissà cos'altro) di ammirazione e rimarranno attoniti nel vedere tutta la conoscenza che noi umani siamo riusciti a riassumere in una semplice tavola periodica degli elementi».

Sam Kean vive e lavora a Washington. Collabora con numerose riviste tra cui «The New York Times Magazine» e «New Scientist». *Il cucchiaino scomparso* è stato pubblicato negli Stati Uniti nel 2010, diventando rapidamente un bestseller.